
UC-NRLF
$B 244 460

Ex libris

Charles Atwood

Kofoid




SEAL OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA
LET THERE BE LIGHT
1868

Vogelflug und Flugmaschinen

Darstellung und Kritik der Erfindung des Kraftfluges durch Natur und Technik

Von Dr. Oskar Prochnow.

Mit 36 Abbildungen

Verlag von Theod. Thomas, Leipzig

Druck von Hallberg & Büchting, Leipzig.

1. Wie ist Eigenbewegung möglich?

Archimedes brauchte einen ruhenden Pol, wo er stehen könnte, um die Erde um ihre Achse zu drehen. Er fand ihn nicht; denn im Kosmos ist alles im Flusse, und doch konnte er die Erde drehen, ebenso wie ein jeder von uns, wenn er spazieren geht. Zwar merken wir von dieser Drehung, die wir der Erde aufzwingen, nichts und vermöchten sie mit unseren feinsten Instrumenten selbst dann nicht nachzuweisen, wenn sich Tausende von Leuten verabreden würden, zu derselben Zeit in derselben Richtung auf der Erde zu wandeln. Und doch behaupten wir, daß eine solche Drehung stattfinden muß und zwar in verschiedenen Richtungen, je nachdem wir unsere Bewegungsrichtung wählen: von Westen nach Osten, wenn wir uns von Osten nach Westen bewegen, nach Süden, wenn wir uns nach Norden begeben usw. Da sich nun die Erde von Westen nach Osten dreht, so würden wir durch einen Spaziergang nach Westen die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde vermehren, vermindern hingegen, wenn wir uns in derselben Richtung fortbewegen würden, in der sich die Erde dreht, also von Westen nach Osten.

Doch wie können wir diese sonderbaren Behauptungen beweisen? — Nicht mit Instrumenten, die der Physiker allein gebraucht, sondern mit dem Werkzeug aller Menschen, dem Verstande. Wir sehen nämlich, daß es in vielen Fällen in der Natur genau ebenso hergeht und schließen dann: also muß es in jenem Falle ebenso sein, auch wenn wir es weder direkt sehen, noch mit Instrumenten nachweisen können:

Wenn wir eine Kanone abschießen, so fliegt die Kugel weit aus dem Rohre heraus und die schwerere Kanone selbst bewegt sich um ein kleines Stück zurück. Könnte man diese Stoßwirkung auf eine zweite Kanonenkugel übertragen, so würde man finden, daß diese ebensoweit fliegt wie die erste. Wir brauchten dazu nur ein beiderseits offenes Rohr mit einer Zündvorrichtung in der Mitte zu versehen. Dann könnten wir mit derselben Pulverladung, die bei unseren Kanonen nur eine Kugel treibt, zwei solche auf gleiche Entfernung schleudern — nur schade, daß wir dann unsere eigenen Verluste vermehren würden.

Auch in unseren hier und da selbst heute noch primitiven Turnhallen können wir Vorfälle ganz ähnlicher Art erleben: Jemand holt zu einem kräftigen Sprunge aus und springt ab. Das Sprungbrett, das unten keinen Gummistreifen aufweist, gleitet auf dem glatten Fußboden nach hinten aus und der

Springer landet vor dem Ziel. Er konnte sich nicht von dem Brette abstoßen, weil ihm dieses keinen festen Halt bot.

Denken wir weiter an eine Ameise, die in den Trichter eines ihrer Feinde, der Larve eines Ameisenlöwen, Myrmeleon formicarius, geraten ist. Bisweilen gelingt es ihr, zu entkommen. Wie macht sie das? Sind doch die Wände des Trichters ziemlich steil und rollen ihr doch die Sandkörnchen, die sie berührt, wie Kugeln unter den Füßen weg! Und doch sind es eben diese rollenden Sandkörnchen, die ihr das Emporkommen an der steilen Wand des Trichters ermöglichen. Setzen wir nämlich eine Ameise auf eine glatte, horizontal gelegte Glasplatte, so vermögen selbst die schnellen Bewegungen ihrer Beine kaum, sie von der Stelle zu bringen. Streuen wir jedoch wenige Sandkörnchen auf die Platte, so kann sich die Ameise von diesen abstoßen, indem sie sie zurückstößt; sie kommt dann viel schneller vorwärts, obwohl oder vielmehr weil diese rückwärts rollen. —

Alle diese Fälle haben das gemeinsam, daß sich ein Körper auf einem anderen oder von einem anderen weg zu bewegen sucht. Diese Bewegung ist um so leichter möglich, je schwerer sich die die Unterlage bildenden Körper aus ihrer Ruhelage bringen lassen, je größer also der Halt oder Widerstand ist, den sie dem sich bewegenden Körper darbieten. Die Physik nennt diese Eigenschaft der Körper Beharrungsvermögen oder Trägheitswiderstand. Er ist der Hemmschuh jeder Bewegung und doch die Voraussetzung der Eigenbewegung eines Körpers auf einem anderen. Er verschlingt die wirkenden Kräfte, sei es, daß diese ganz dazu gebraucht werden, einen ruhenden Körper in Bewegung zu setzen oder einen bewegten aufzuhalten, oder daß der Trägheitswiderstand zweier Körper bei einer Bewegung eine diese Bewegung hemmende Reibung hervorruft. Andererseits ist er es, der eine Bewegung eines Körpers auf einem anderen möglich macht, indem der Trägheitswiderstand der Unterlage diese zum Stützpunkt des sich bewegenden Körpers macht. So setzt beim Abfeuern einer Kanone diese dem Stoße der Explosion einen ziemlich großen Widerstand entgegen; sie läßt sich weniger leicht aus der Ruhe bringen als die leichtere Kugel, auf die dieselbe Stoßkraft wirkt. Der Trägheitswiderstand der schwereren Kanone ist also größer als der der leichteren Kugel. Allgemein wächst er in demselben Maße wie die Schwere oder das, was diese Eigenschaft bedingt, die Masse der Körper.

Ist nun die Masse eines Körpers sehr groß im Vergleich mit der Masse des Körpers, der sich auf ihm bewegt, so setzt er dem

Stoße des sich abstoßenden Körpers einen sehr großen Trägheitswiderstand entgegen und kommt also nur ganz wenig aus der Lage, die er anfänglich eingenommen hat. Die Masse der Erde ist nun aber im Verhältnis zur Masse des Menschen ungeheuer groß — sie wiegt etwa 10^{23} = 100000000000000000000000 = 100000 Trillionen mal so viel wie ein erwachsener Mensch —; daher ist an eine meßbare Veränderung ihrer Umdrehungsgeschwindigkeit durch die Fußtritte der Menschen nicht zu denken, zumal die Menschen und Tiere in ganz verschiedenen Richtungen sich auf der Erde bewegen und sich die Einwirkungen auf die Erde daher zum weitaus größten Teile aufheben werden.

So also ist es zu erklären, daß wir die Erde nur um unmeßbar kleine Winkel drehen, wenn wir uns von ihr oder sie von uns abstoßen. Springen wir indes von einer kleinen, etwa einen Zentner schweren Kugel ab, so versetzen wir sie in stärkere Umdrehung, d. h. die Kugel rollt hinter uns davon.

Immer jedoch muß noch eine Eigenschaft der Körper vorliegen, wenn mit Benutzung ihres Trägheitswiderstandes eine Bewegung auf ihnen möglich sein soll. Das merken wir deutlich, wenn wir auf dem Eise gehen oder gar springen wollen. Die Erde unter unseren Füßen ist dieselbe geblieben; ihr Trägheitswiderstand ist also auch unverändert — aber wir können ihn nicht so leicht herausfordern, weil sie zu glatt ist und uns entgleitet. Wir können keinen Halt finden, sie von uns oder, was dasselbe ist, uns von ihr abzustoßen. Es fehlt hier an der nötigen Reibung zwischen den sich berührenden Körpern.

Diese beiden Eigenschaften der Körper sind es, die Eigenbewegungen ermöglichen: Trägheitswiderstand und Reibung.

Gilt dies auch von der Bewegung im Wasser oder gar in der Luft, dort wo die Teilchen der Körper gar nicht träge zu sein scheinen, sondern sich sehr leicht verschieben lassen, dort wo auch die Reibung anscheinend sehr gering ist? Ja! Im Grunde vollziehen sich die meisten Bewegungen nach demselben Schema, insbesondere alle gewollten Eigenbewegungen der Tiere. Das Tier, das sich bewegen will, drückt mit Teilen seines Körpers gegen die Unterlage, den Erdboden, das Wasser, die Luft. Die Unterlage läßt sich nicht ohne weiteres aus der Ruhelage herausbringen, sondern drückt ihrerseits während der ganzen Dauer des Stoßes, den das Tier ausführt, zurück auf den drückenden Körper und stößt ihn dadurch von sich ab. Alle diese Bewegungen sind also Bewegungen durch „Rückstoß“ und erfolgen in Rich-

tungen, die den Richtungen der bewegenden Kräfte entgegengesetzt sind.

So werden die Tropfen des Wassers und die gleitenden Teilchen der Luft zu dem sicheren Boden für die Wesen, die sich diesen Medien durch Entfaltung brauchbarer Fortbewegungsorgane haben anpassen können. So halten wir uns im Wasser an der Oberfläche, indem wir mit Armen und Händen das Wasser nach unten drücken; wir schwimmen zugleich vorwärts, indem wir das Wasser mit Armen und Beinen nach hinten drücken. In beiden Fällen überlassen wir es dem Wasser, uns dorthin zu treiben, wohin wir schwimmen wollen. Die Krebse schwimmen rückwärts, indem sie den Schwanz schnell nach vorn unter den Hinterleib einschlagen und dadurch das Wasser vorwärts treiben. Dessen Rückstoß ist es, der den Krebs zurückschnellt. So schwimmen auch die Tintenfische rückwärts, indem sie das in ihrer Mantelhöhle eingeschlossene Wasser schnell durch den Trichter ausstoßen, und die zarten Medusen drängen das Wasser aus dem glockenförmigen Schirme heraus, indem sie dessen Wölbung abwechselnd verstärken und verflachen. Der Rückstoß des dabei ausgetriebenen Wassers ist es, der sie mit der Wölbung nach vorn forttreibt, während das langsamer eindringende Wasser dieser Bewegung zwar entgegenwirkt, jedoch die Rückstoßwirkung nicht merklich vermindert.

Doch wie ist im Wasser ein solcher Rückstoß möglich? Weichen doch die Teilchen dem Schlage sofort aus und setzen anscheinend nur ganz geringen Widerstand dem sich bewegenden Körper entgegen! Der Druck im Wasser nämlich pflanzt sich nach allen Seiten mit ziemlich großer Geschwindigkeit fort, doch nicht ohne daß dabei vom Wasser auf den drückenden Körper ein Gegendruck ausgeübt würde. Da jedoch die Teilchen anders als bei festen Körpern dem Drucke ausweichen, so geht ein großer Teil des Druckes ungenützt verloren. Der Stoß ist also nicht so wirksam, als wenn sich ein Körper von einem festen Gegenstand abstößt. So kommt es, daß wir auf dem Wasser nicht gehen, geschweige denn davon abspringen können. Daß dabei nicht das geringe Gewicht des Wassers, sondern nur der Zusammenhang der Teilchen ausschlaggebend ist, ersieht man daraus, daß wir auf dem viel leichteren Holz der Fußböden unserer Zimmer gehen, tanzen und springen können.

Noch viel ungünstiger liegen die Verhältnisse bei der noch leichter fließenden Luft, bei der die Teilchen nicht nur nicht fest zusammenhaften, sondern sogar — ganz ebenso wie bei anderen

Gasen und Gasgemischen — auseinanderstreben und nur durch die Schwere daran gehindert werden, davonzueilen in die Weiten des unendlichen Weltenraumes.

2. Das Fliegen als Problem.

Das Flugproblem ist gleichbedeutend mit der Frage: Wie wird ein hinreichender, als Auftrieb wirkender Trägheitswiderstand hervorgerufen, der uns befähigt, den Kampf mit der Schwere zu bestehen, der Schwere eine gleichfalls fortgesetzt wirkende, mindestens gleichstarke hebende Kraft entgegenzusetzen, so daß uns deren nutzbarer Überschuß emporhebt dorthin, wohin schon seit Jahrtausenden ein Sehnen den Menschen zieht, dem Vogel und dem kleinen schwachen Käfer und der zarten Mücke zu folgen auf ihrem ungebahnten Wege. Das Fliegen erschien den Vorwärtsdenkern vergangener Zeiten immer als ein Ideal, als etwas unsagbar Schönes. Und mußte ein Dichterherz nicht frohlocken beim Gedanken an die Schönheiten der Natur, die von der Warte des Vogels aus sich uns bieten würden, wenn wir wirklich, nicht bloß geistig auffliegen würden, staunend der Blick geheftet auf die sonnendurchstrahlten Fluren, die rauschenden, stolzen Wälder und die Silberbänder der Flüsse, noch weit mehr die Kleinheit menschlicher Sorgen vergessend, wenn wir über der Natur und doch bei ihr sind, als wenn wir unter ihren Bäumen wandeln — und stolz gemacht durch den Gedanken daran, daß wir durch unsere Forschung der Natur etwas abgerungen haben, das sie freiwillig uns zu geben nicht willens war!

Aber das Fliegen blieb eine Sehnsucht und die Flügellosigkeit wurde als ein Mangel der Menschengestalt empfunden. Darum verlieh man Flügel den Göttern und ihren Boten, ihnen, den ewigen, vollkommenen und dachte sie sich thronend in lichten Höhen. Doch der Mensch konnte sich mit dem Anschauen seiner Idealgestalten nicht begnügen; er wollte ihnen gleich werden. So berichtet denn die Sage von manchem Versuche sterblicher Menschen, sich in die Luft zu erheben; sie wollten es ebenso machen wie die Vögel, deren Flügel sie ihren Göttern als Zierde verliehen hatten:

Daedalus und Ikarus, vom Könige Minos gefangen gehalten, sehen keinen anderen Weg zu ihrer Befreiung als den durch die Luft. Daher fertigt Daedalus nach dem Muster des Vogelflügels große Flügel an, indem er Vogelfedern mit Wachs zusammenklebt. Diese bindet er sich selbst und dem jungen Ikarus an die Arme an, und mit ihrer Hilfe erheben sich die beiden Gefangenen

wie zwei große Vögel in die Luft. — Ovid, der diese Sage berichtet, sagt nicht, daß ihnen der Flügelschlag beschwerlich gewesen sei. Vielmehr kamen sie anscheinend mühelos in die Luft und etwas ganz anderes vereitelte den völligen Erfolg der Flucht: Ikarus kam der Sonne zu nahe, das Wachs schmolz, die Federn lösten sich und Ikarus stürzte ins Meer, sterbend als das erste Opfer der Flugtechnik.

Es ist nicht uninteressant, wie wenig die Alten die Kunst des Vogels durchschauten. „Hätten wir Flügel, so könnten wir offenbar fliegen," scheint die ganze Erkenntnis gewesen zu sein, die sie dem Vogelfluge abgelauscht hatten. Dann belehrten die Mißerfolge die Flugkünstler darüber, daß man das Flugproblem noch nicht durchschaut habe, wenn man wüßte, daß zum Fliegen Flügel nötig seien. Erst recht spät ging man an eine planmäßige Erforschung der Flugkunst der Tiere, um die geheimen Kräfte aufzudecken, die dem Vogel den Auftrieb verschafften. Groß müssen diese Kräfte offenbar sein; denn der Vogel ist nicht leicht: im Fluge vom Geschoß getroffen, stürzt er wie ein Stein zu Boden. Und doch sah man gewisse Vögel, große Raubvögel, Störche, Möwen bisweilen regungslos hoch in der Luft schweben: anscheinend ein Wunder, ein Widerspruch der Natur mit sich selbst. So groß auch das Rätsel des Fluges anfangs schien, so war offenbar doch die Erforschung des Vogelfluges das beste Mittel, das Problem des „Schwerer-als-die-Luft-Fliegers" zu lösen. Hier nämlich war das Problem glänzend gelöst. Es kam also nur darauf an, die Lösung zu begreifen und die natürlichen Verhältnisse nachzubilden, soweit es möglich war. Dabei mußte von vornherein klar sein, daß wir selbst nicht Vögel werden könnten, sondern in manchem Punkte andere Wege einschlagen mußten, um zum Ziele zu gelangen, als es einst die Natur getan hatte. Aber wir durften hoffen, daß auch in dieser Hinsicht unsere Leistungen die der Natur in den Schatten stellen würden. Denn als der Mensch noch vor dem Flugprobleme stand, hatte er bereits Maschinen ersonnen, mit deren Hilfe er aller lebenden Wesen Stärke, Schnelligkeit und Ausdauer weit übertraf. Heute, wo die Lösung des Flugproblems im großen und ganzen gelungen ist, ist diese Hoffnung zur Zuversicht geworden: Die Flugmaschinen werden nicht trotz, sondern wegen ihrer Abweichung von der Bauart des Vogels diesen an Leistungsfähigkeit übertreffen, ebenso wie die Maschinen mit Kessel und Rädern die „Maschinen" mit Darm und Beinen übertroffen haben, nämlich die Organismen.

Doch noch eine andere Möglichkeit der Lösung des Flugproblems bot sich:

Könnten wir nicht in der Luft schwimmen? Könnten wir nicht, ähnlich wie wir beim Schwimmen im Wasser die Tragkraft des Wassers ausbeuten, indem wir den größten Teil des Körpers in das Medium eintauchen und so das Körpergewicht fast ganz dem Wasser aufbürden, auch bei der Luft verfahren? Scheinen doch die Verhältnisse hier wenigstens in einer Hinsicht noch günstiger zu liegen als beim Schwimmen im Wasser: Den Hauptteil der Kraft nämlich, die wir beim Schwimmen aufbringen müssen, verbrauchen wir, um das Gewicht des aus dem Wasser herausragenden Körperteiles durch den Trägheitswiderstand des Wassers aufzuheben; unter der Wasseroberfläche schwimmend brauchen wir fast gar keine Kraft gegen die Erdanziehung aufzubringen, da ja unser Körper nur wenig schwerer ist als das Wasser und also beinahe vom Wasser getragen wird. In der Luft schwimmend brauchten wir jedoch den Kopf nicht über die Grenze der Atmosphäre — gesetzt sie wäre vorhanden — zu erheben, sondern könnten schwimmen wie der Fisch im Wasser und den Auftrieb der Luft, die ja auch ein Körper ist, auf unseren ganzen Körper wirken lassen — wenn die Luft schwer genug oder unser Körper leicht genug wäre. Aber die Luft ist gar zu leicht! Ein Liter Luft wiegt nur 1,293 g, ist also etwa 780 mal so leicht wie das Wasser und rund 1000 mal so leicht wie unser Körper; sie könnte also nur den 1000 sten Teil unseres Gewichtes tragen, wenn wir in der Luft schwimmen wollten. Wir jedoch hätten durch Arm- und Beinbewegungen einen solchen Trägheitswiderstand hervorzurufen, um den ganzen Rest des Gewichtes, also etwa $^{999}/_{1000}$, der Schwere trotzend in der Luft schwebend zu erhalten. Und da wir unseren Körper nicht auf das Tausendfache vergrößeren können, ohne sein Gewicht zu vermehren — ich denke an die Fabel vom Ochsenfrosch — so bliebe uns die Kunst des Schwimmens in der Luft nach Art des Schwimmens der Fische ebenso verschlossen wie allen anderen Lebewesen — wenn wir unserem Körper nicht einen so großen und leichten Anhangskörper verschaffen könnten, daß sein Gewicht und das unsrige zusammen von der Luft getragen werden, also jedenfalls nicht schwerer sind als die Luft, die sie verdrängen.

Dieser Anhangskörper ist aber bereits erfunden und hat schon eine berühmte Geschichte seiner Entwicklung: er heißt Luftballon.

Josef Michael de Montgolfier war durch die Beobachtung des Schwebens der Wolken zu Experimenten über den Auftrieb in

der Luft geführt worden. Er wollte künstliche Wolken herstellen, die wie die draußen am Himmel schwebenden der Schwere trotzten, und wollte deren Auftrieb als hebende Kraft benutzen. Zuerst hoffte er, durch Wasserdampf, den er in einen Sack strömen ließ, einen hinreichenden Auftrieb zu erzielen, um den Sack aufsteigen zu lassen. Ohne Erfolg! Dann versuchte er es mit Wasserstoffgas, von dem er wußte, daß es etwa 14mal leichter ist als die Luft. Dieses Gas sollte eine Papierhülle heben, die es umschloß. Vergebens! Das leichte Gas suchte sich einen Ausweg durch die Poren des Papieres und ließ dieses am Boden liegen. Montgolfier dachte weiter über sein Problem nach und entdeckte, daß es Körper gibt, die in der Luft nicht nur schweben, sondern sogar aufsteigen; er wollte die Kraft benutzen, die den Rauch in die Luft emporhebt. Darum fertigte er sich einen etwa würfelartigen Sack aus Stoff an und entzündete unter der unteren offenen Seite einen Haufen Papier. Nach wenigen Sekunden blähte sich der Sack auf und stieg gleich darauf bis zur Zimmerdecke empor.

Damit war der Luftballon im Prinzip erfunden; alles folgende waren nur Verbesserungen. Und wie in unseren Tagen die Aviatik, so machte damals die Ballonluftschiffahrt sehr schnelle Fortschritte, so daß beinahe in einem einzigen Jahre mehr Neues geschaffen wurde, als in den folgenden 100 Jahren zusammengenommen. Am 5. Juni 1783 fand in Annonay der erste öffentliche Aufstieg eines Heißluftballons oder einer Mongolfiere statt. In derselben Zeit war ein Mittel gefunden worden, den Kautschuk aufzulösen; man konnte nun durch Bestreichen mit dieser Lösung Stoffe gasdicht machen. Daher war es auch möglich, den leichten Wasserstoff in eine Hülle einzuschließen und seinen Auftrieb durch die äußere Luft zum Heben nutzbar zu machen. Doch machte die Herstellung größerer Wasserstoffmengen große Schwierigkeiten. Der Physiker Charles, der die Ausführung des Gasballons leitete, überwand jedoch alle Hindernisse, und es gelang ihm, durch Benutzen von 10 Zentnern Eisen und 5 Zentnern Schwefelsäure den Wasserstoff herzustellen, der zur Füllung des 35 cbm fassenden Ballons aus gedichtetem Seidenstoff nötig war. Am 27. August 1783 fand bereits der erste Aufstieg dieses ersten nicht bemannten Wasserstoffballons — nach dem Erfinder Charliere genannt — unter dem Jubel der Pariser statt. Am 21. November desselben Jahres erfolgte die erste Freifahrt in einer riesigen Montgolfiere von 2000 cbm Inhalt und einen Monat später unternahm Charles in Begleitung eines der Brüder Robert, denen die Auflösung des Kautschuks gelungen war, von

Paris aus einen Aufstieg in einer Charliere. Anfangs widersetzte sich die Regierung diesem Versuche genau ebenso, wie sie die erste Freifahrt in einer Montgolfiere hatte verhindern wollen; und nur dem mannhaften Auftreten des Physikers Charles gelang es, die Erlaubnis zu erzwingen. Die Fahrt verlief erstaunlich glatt. Wer beschreibt die Gefühle dieses Mannes, dem es vergönnt war, durch seine kühne Tat den Wert seiner Ideen vollauf zu beweisen, als er im Vertrauen auf sich selbst und auf das Werk seines Geistes die Schönheiten einer Natur genießen konnte, die den Menschen bis dahin versagt war!

Charles gab dem Ballon bereits die Gestalt und Ausrüstung, die er bis heute mit geringen Abänderungen behalten hat: die Kugelgestalt, das Netzhemd, das Ventil zum Herauslassen des Gases, das Ansatzstück oder den Appendix zum Einfüllen des Gases — Bestandteile, die den Freiballon von heute genau ebenso kennzeichnen wir den Gasballon Charles'.

Mit der Erfindung des Gasballons war aber das Problem des Schwimmens in der Luft nur zur Hälfte gelöst. Ein Kugelballon wird vom Winde getrieben, wie ein Stück Holz von der Strömung des Wassers. Es ist also fast unmöglich, mit einem Kugelballon an ein bestimmtes Ziel zu kommen, wenn nicht gerade der Wind in der Richtung weht, die man einschlagen möchte. Die zweite Hälfte der Lösung unseres Problems bringt die Erfindung des Motorballons. Seine Hauptunterschiede vom Kugelballon sind die veränderte Gestalt, die Aufnahme eines Motors, die Hinzufügung von Seiten- und Höhensteuern und von Stabilisierungsflächen.

Wollte man einen Lenkballon haben, so mußte man die Kugelgestalt aufgeben; denn ein Kugelballon gehorcht dem Steuer ebensowenig wie eine auf dem Wasser schwimmende Tonne. Ferner mußte man den Luftwiderstand möglichst abschwächen. Beiden Anforderungen genügt ein gestreckter Ballonkörper. Die Streckung des Ballons jedoch darf nicht zu groß — d. h. der Ballon nicht zu schlank — werden, weil dann der Vorteil durch Verminderung des Stirnwiderstandes wieder überboten würde durch den Nachteil der Vergrößerung der Lufttreibung an den unter diesen Umständen größeren Seitenflächen.

Die anderen Probleme des Motorballons werden uns wieder begegnen, wenn wir im Gegensatze zu diesen „Leichter-als-die-Luft-Fliegern" auf die Lösungen des Problems des „Schwerer-als-die-Luft-Fliegers" eingehen, die man im Anschluß an das Studium der Lösungen des Flugproblems durch die Natur gefunden hat.

I.

Die Lösungen des Flugproblems durch die Natur.

1. Das Schweben als Folge der Kleinheit.

Die biologischen Wissenschaften bieten uns viele Beispiele, daß die Natur ihre Kinder oft durch absonderliche Mittel für den Daseinskampf ausrüstet. Ein solches ist die Kleinheit. Oft allerdings von Nachteil und von den Wissenden gehaßt und geschmäht, wird sie in anderen Fällen das einzige Mittel zur Erhaltung der Art. Dazu aber muß das Lebewesen ungewöhnlich klein sein, so daß wir es mit unbewaffnetem Auge eben noch erkennen können als winziges Pünktchen. Diesen durch ihre Kleinheit bevorzugten Lebewesen gelingt es ohne einen Apparat, das Flugproblem zu lösen: der leiseste Windhauch trägt sie davon und setzt sie nieder, wo gerade sich ein Hindernis bietet. Andere Pflänzchen oder solche, die es werden wollen, bedürfen zum Fliegen nicht einmal eines schwachen Windes; sie machen es wie die Sportsmen, die dem Gleitflug obliegen. Diese Hochgeborenen lassen sich von ihrem erhöhten Standorte fallen und gleiten langsam abwärts. Dabei ist die Fallverzögerung in vielen Fällen sehr bedeutend. Bei den Sporen eines Bovist, Lycoperdon caelatum, fand man die Fallzeit auf das Tausendfache angewachsen. Solche kleine Fortpflanzungskörper würden also 1000 Sekunden oder über eine Viertelstunde brauchen, um dieselbe Strecke von 5 m zurückzulegen, die ein freifallender Stein in einer Sekunde durcheilt. Sie haben also gute Aussicht, dabei von einem Luftstrom erfaßt zu werden; ja, sie werden ihre Luftreise im allgemeinen nur dann antreten, wenn ein fühlbarer Wind weht, der dann zunächst die Aufgabe hat, sie von ihrer Befestigung zu lösen, und dann erst, sie davonzutragen. So können diese winzigen Lebewesen in günstigen Fällen über ganze Länder und weite Meere segeln, ohne ihren Flug zu unterbrechen. Doch sind auch hier die Unglücksfälle bei der Landung nicht selten, ja noch weit häufiger als bei Rekordfahrten im Kugelballon. Es ist die Regel, daß die Sporen und Pollenkörner nicht dahin kommen, wohin sie wollen, nicht auf einen Boden, der sie nährt oder ihre weitere Entwicklung ermöglicht.

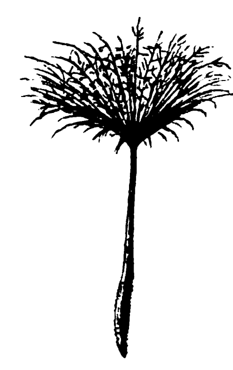
Vergleichen wir die Verbreitungsmittel der Samenpflanzen damit, so finden wir nur sehr selten eine Verbreitung durch Luftströmungen ohne Ausbildung besonderer Flugapparate. Die Samen sind vielzellig und daher nicht mikroskopisch klein wie die Sporen der Sporenpflanzen, der Farne, Pilze, Bärlappe usw. Es ist die Kleinheit an sich, die den Schwebeflug der Kleinsten unter den Kleinen ermöglicht. Keine Lebensregung hilft ihnen; ihr Fliegen ist wie auch das Gleiten der geflügelten Samen eine rein physikalische Erscheinung. Es verhält sich hier genau wie beim Wasser: Wenn nämlich die Wassertröpfchen so klein sind, daß wir sie mit bloßem Auge noch eben erkennen können — wenn der Nebel „steigt" oder der Dampf, der von unserem Kaffee und Tee emporwirbelt, sich zu Nebel verdichtet — dann fallen sie so langsam, daß wir ihren Fall nicht bemerken, und daß schon ein geringer Luftstrom genügt, den Fall aufzuheben und sie sogar emporzutragen. Größere Wassertropfen dagegen oder die um ein geringes leichteren Hagelkörner prasseln wie die Steine hernieder.

Die Form ist in allen diesen Fällen nicht entscheidend; handelt es sich doch durchweg um Gebilde ungefähr von Kugelgestalt. Es ist das günstige Verhältnis der Oberfläche des Körpers, die sich an der Luft stößt oder reibt, zur Masse des Körpers, die, der Erdanziehung folgend, diese Reibung zu überwinden hat und sie offenbar um so leichter überwindet, je weniger Teilchen des Körpers der Luftreibung ausgesetzt sind. Das ist aber um so mehr der Fall, je größer der fallende Körper ist. Dann nämlich liegen im Innern des Körpers eine große Menge Teilchen, die gar keine Luftreibung hervorrufen, während ein ganz kleiner Körper gewissermaßen nur ein einziges Teilchen ist, dessen Oberfläche ganz der Luftreibung ausgesetzt ist. Die Mechanik sagt dafür: Je größer das Verhältnis der Oberfläche zur Masse oder zum Gewicht eines Körpers ist, desto größer ist der Widerstand durch Luftreibung, desto langsamer also fällt ein Körper. Von Körpern, die genau dieselbe Form haben, erfährt also ein größerer eine verhältnismäßig kleinere Fallverzögerung durch Luftreibung als ein kleinerer.

2. Fallschirme und Gleitflieger aus dem Pflanzenreiche.

Da bei den höheren Pflanzen die Verbreitungsorgane im allgemeinen ziemlich große Körper sind — die Samen sind ja junge Pflanzen, die einen Ruhezustand durchmachen, nicht jedoch

einzelne Zellen —, so mußte die Natur hier andere Wege einschlagen, wenn sie den Wind als Transportmittel zur Verbreitung der Samen und damit der betreffenden Pflanzenart benutzen wollte. Sie wählte eine Abänderung desselben Prinzips der Oberflächenvergrößerung. Wurde dort eine verhältnismäßig große Oberfläche durch Verkleinerung der Masse erreicht, so kommt sie jetzt durch Vergrößerung der Masse zu demselben Ziele. Sie richtet es nämlich so ein, daß die hinzugefügten Teile eine verhältnismäßig sehr große Oberfläche haben, so daß sich trotz dieser Vermehrung der Masse noch ein nutzbarer Überschuß an Oberfläche ergibt: Die Samen werden mit langen Haaren ausgerüstet, die beim Fall eine sehr große Luftreibung verursachen und ihn daher aufhalten. Ein sanfter Windhauch genügt bereits, um die Samen von Pappeln und Weiden wie leicht dahin segelnde Schneeflocken über weite Strecken Landes zu tragen.



Samen vom Bocksbart (Tragopogon maior).

Eine schönere Erfindung aber ist der Natur bei vielen Kompositen gelungen, besonders bei unserem Bocksbart: Tragopogon major. Steife Haare, die den Fall verzögern sollen, bilden einen sich nach oben öffnenden Trichter, und unten daran sitzt an langem Stiele der eigentliche Samen, wie ein Luftschiffer, der sich mit einem Fallschirme aus dem Ballon herabläßt. Zwischen den steifen Haaren breitet sich ein Maschenwerk ganz dünner Härchen aus und bildet so mit den steifen Borsten eine zusammenhängende Fläche, die die Luft beim Herabfallen der Samen zwingt, nach oben auszuweichen. Dadurch wird zwar kein sehr großer Luftwiderstand erzeugt und daher der Fall auch hier hauptsächlich durch die Luftreibung aufgehalten. Doch können an keiner Stelle Luftstauungen auftreten. Der Fall ist also gleichmäßig ruhig und erfolgt beinahe genau senkrecht nach unten, wenn die Luft ganz unbewegt ist. Dabei ist die Luftreibung schon unmittelbar nach dem Beginn des Falles so groß, daß die beschleunigende Wirkung der Erdanziehung nicht mehr bemerkbar ist. Der Samen fällt mit einer gleichbleibenden Geschwindigkeit von etwa $1/_2$ m in jeder Sekunde. Dieser ziemlich große Wert der Fallgeschwindigkeit rührt vor allem daher, daß der

Same im Verhältnis zur Tragfläche ziemlich schwer ist. Nimmt man den größten Teil der Last weg, indem man den Samen abbricht und nur einen Teil des Stieles übrig läßt, so fällt der Fallschirm viel langsamer. Ich fand in diesem Falle eine Fallgeschwindigkeit von etwa 15 cm in der Sekunde. Doch genügt bereits der oben mitgeteilte Wert der Fallverzögerung, damit der Samen vom Winde mitgenommen und über weite Strecken Landes getragen wird. Die Samen segeln dann immer in ihrer natürlichen Stellung, da sie ja, wie der Flugtechniker sagt, stark unterlastig sind. Sie bleiben unterlastig, d. h. ihr Schwerpunkt bleibt unterhalb des Aufhängungspunktes oder hier des Druckmittelpunktes (in dem wir uns die auftreibenden Kräfte der Luftreibung und des Windes vereinigt angreifend denken können), auch wenn wir den Samen mit dem Stiele ganz von dem Schirme entfernen. Es segelt also auch der Schirm selbst wie ein Luftballon „automatisch stabil": Er hängt in der ihn tragenden Luft wie ein Pendel und kehrt von selbst in die Lage zurück, in der der Schwerpunkt so tief wie möglich liegt.

Bei anderen Samen sind flügelartige Anhänge ausgebildet worden. Die Natur ist hier auf einen neuen Gedanken gekommen: sie nutzt neben der fallverzögernden Wirkung der Luftreibung noch die tragende Wirkung des Luftwiderstandes aus. Bisweilen liefern vergrößerte Kelchblätter diese Tragflächen, in anderen Fällen der Fruchtknoten oder schließlich der Samen selbst.

Bei den meisten Samen unserer einheimischen Gewächse sind diese Flugorgane nicht sonderlich gut ausgebildet. Teils ist nur ein Flügel da, so daß die Samen wie auf einer Wendeltreppe herabgleiten oder sich schnell wie eine Schraube herumdrehen und dabei langsam zur Erde fallen.

Wunderbare Gleitflieger finden wir jedoch in den Samen tropischer Bignonia-Arten und besonders der auf Java heimischen Zanonia macrocarpa. Beide Samen sind ganz flach, die Samen der Bignonia mucronata etwa 4 cm lang (gemessen in der Richtung, in der der Samen fliegt) und 9 cm breit, die der Zanonia macrocarpa, eines Kürbisgewächses, etwa bis 5 cm lang und bis 14 cm breit. Ein herrlicher Anblick, wenn diese natürlichen Gleitflieger mit ihren seidenglänzenden Tragflächen in ruhigem sicheren Fluge wie segelnde Tagfalter dahinschweben! Wie hat es die Natur eingerichtet, daß der Flug so erstaunlich sicher vor sich geht, so daß diese Samen geradezu Modelle für Gleitflieger darstellen?

Der Bignonia-Same bildet eine schwach nach unten gewölbte

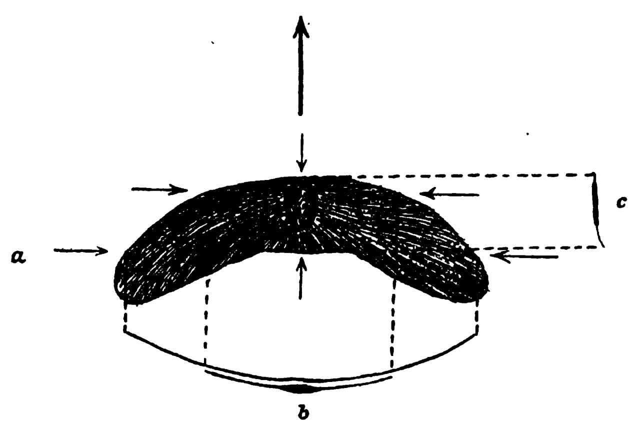
Fläche, deren breitere Vorderkante beim Fluge nach vorn gekehrt ist. Mitten zwischen beiden Enden der Tragfläche liegt, dem Vorderrande genähert, der Same selbst. Von hier gehen eine große Anzahl zarter und doch haltbarer Versteifungsrippen der ganzen Fläche aus, sich sanft gegen den Rand der Fläche verjüngend. Der Hinterrand ist sehr biegsam. Da nun der eigentliche Same der schwerste Teil des ganzen Körpers ist und wie in einer flachen Mulde liegt, so liegt der Schwerpunkt am unteren Teile der Tragfläche. Die Stabilität des Fluges wird also auch hier durch Tieflegung des Schwerpunktes erreicht. Doch das ist nur einer der Vorzüge dieses Gleitfliegers,



Samen als Gleitflieger. Oben von Bignonia mucronata, unten von Zanonia macrocarpa. Flugrichtung nach vorn und links.

den er mit den Fallschirmfliegern gemeinsam hat. Der Same würde nicht auf schräger Bahn herabgleiten, sondern langsam senkrecht fallen, wenn der Schwerpunkt nicht zugleich der Vorderkante genähert wäre. Dadurch erst wird er zum Gleitflieger. Es neigt sich die Vorderkante, und der Flieger nimmt eine Lage an, in der die Längsachse schräg nach vorn und unten zeigt. In dieser Lage gleitet er langsam zur Erde. Damit sich der Vorderrand infolge des Luftwiderstandes dabei nicht umlegt, reichen die Versteifungsrippen hier bis dicht heran. Am Hinterrande dagegen hat die Natur an Material gespart, da ja diese Teile im Druckschatten liegen.

Obendrein wird auf diese Weise noch erreicht, daß der biegsame Hinterrand wie eine Art Höhensteuer wirkt. Da er nämlich sogar sehr kleinen Druckunterschieden nachgibt, so wird er weniger als Tragfläche wirken als die besser versteiften vorderen Teile. Es erhält also der vordere Teil eine erhöhte Bedeutung für die Erzielung des erforderlichen Luftwiderstandes und der Mittelpunkt der Druckkräfte, in dem man sich diese vereinigt denken kann, liegt vor dem geometrischen Mittelpunkt der ganzen Fläche. Wird nun der Samen einmal durch Luftströmungen in eine schrägere Stellung zu der Horizontalebene gebracht als



Samen von Zanonia macrocarpa. a von oben gesehen. b zwei Querschnitte. c Längsschnitt durch die Mitte. Der stark gezeichnete Pfeil gibt die Flugrichtung an. (1/3 nat. Größe.)

gewöhnlich, so wirken auf die Oberfläche verstärkte Druckkräfte des Luftwiderstandes. Da diese aber auch den biegsamen Hinterrand treffen und hier wie an einem Schwanzsteuer angreifen, so drücken sie diesen und damit auch den ganzen Hinterteil des Fliegers herab. Es wird also durch den biegsamen Hinterrand eine Gegenkraft hervorgerufen zu plötzlich auftretenden Kräften, die den Flieger umzukippen drohen. Gibt jedoch der Hinterrand dabei zu sehr nach, so wird er sich nach unten umlegen und dadurch neue Luftwiderstandskräfte hervorrufen, die ihn von unten nach oben drücken.

So kommt es, daß die Bignonia-Samen so stolz fliegen. Die Zanonia-Samen weichen in der Bauart davon nur unbedeutend ab. Die Fläche ist hier verhältnismäßig breiter und stärker

nach unten gewölbt. Dadurch wird zugleich der Schwerpunkt noch weiter nach unten verlegt, die Samen sind noch stärker unterlastig, so daß sie noch schneller in die Gleichgewichtslage zurückkehren, wenn man sie aus schräger oder verkehrter Stellung abfliegen ließ. Erstaunlich ist es, in wie kurzer Zeit sie ohne merkliche Schwankungen die Schwebestellung erreichen. Der Hinterrand ist hier weniger leicht beweglich, überhaupt ist die ganze Fläche steifer und dadurch auch schwerer als bei den Bignonia-Samen. Deshalb ist hier auch der Gleitwinkel, d. i. der Neigungswinkel der Flugbahn gegen die Horizontalebene, größer, und der Flug erfolgt schneller.

Ich stellte mit beiden Arten von Samen einige Gleitversuche an. Doch wie groß war mein Erstaunen, als ich fand, daß es der Natur nicht gelungen ist, unter all den Samen, die ich erprobte, einen Gleitflieger zu bauen, der genau geradeaus fliegt. Die einen schrauben sich ähnlich wie die Samen unserer Linden in ziemlich schnellem Falle durch die Luft, andere gleiten in mehr oder minder großen Bogen von etwa ein bis drei Metern Durchmesser wie auf einer Wendeltreppe herab. Allerdings fallen sie nicht schnell. Aus zwei Metern Höhenunterschied machen sie einen Weg von etwa 8 Metern und gleiten also unter einem Winkel von etwa 15° zur Erde. Oder wäre es Absicht, daß sie nicht geradeaus fliegen; ist es vielleicht von Vorteil? Einige Botaniker glauben darin eine weitere Fallverzögerung sehen zu sollen. Natürlich ist es eine Fallverzögerung gegenüber dem Fall in gerader Linie senkrecht nach unten, nicht jedoch, wenn wir den Gleitflug auf krummer Bahn mit dem geraden Gleitflug vergleichen. Zudem erreicht die Natur dadurch den höchsten Nutzen ihrer Einrichtung nicht. Der Flugapparat nämlich dient zweifellos der Verbreitung der Samen und damit der Verbreitung der Art. Der Flug in krummer Bahn aber führt nicht erheblich von der Stelle. Nein, es ist nicht alles nützlich, was aus den Händen Natur hervorging! Menschlich gesprochen: sie wollte wohl das beste schaffen, aber sie konnte nicht. Die Natur hat auch hier wie in so vielen anderen Fällen den höchsten Grad der Nützlichkeit nicht erreicht. Die bilaterale Symmetrie ist allen Organismen, die sich lebhafter bewegen, höchst nützlich — aber die Natur gibt sie ihnen nicht, kann sie ihnen ganz nie geben, sondern immer nur als Annäherung. Die Wesen der Welt sind nicht so vortrefflich angepaßt, wie sie sein könnten, sondern nur so wie sie sein müssen. Sie sind im allgemeinen gerade erhaltungsfähig. Die Lebensfähigkeit der Organismen pendelt um ihr Minimum herum.

Dennoch müssen wir diese Leistungen billigerweise anstaunen, zumal die heutige Wissenschaft alle diese Anpassungen als Werke einer nicht reflektierenden, einer unpersönlichen, einer blind schaffenden Macht ansieht; Es kann nichts Anderes als die züchtende Macht der Lebensumstände sein, die diese Wunder der Technik vollbracht hat. Auch an eine Mitwirkung der psychischen Eigenschaften der eingeschlossenen Samenzellen können vorurteilsfreihe Forscher hier nicht denken, da ja die Teile, die den eigentlichen Flugapparat bilden, von Zellen gebildet werden, die nimmer zum Leben erwachen, die also weder den Effekt einer gerade an ihrem Samen vorliegenden nützlichen Abänderung beurteilen noch ausnutzen können. Diese Anpassungen gehören also mit vielen anderen zu denen, die ohne Zutun der Lebewesen entstanden sein müssen, zu den passiven Anpassungen. Zu deren Erklärung aber ist die Darwinsche Theorie der Naturauslese im Kampfe ums Dasein auch heute noch die einzig brauchbare.

3. Der Bau der Flügel von Vögeln und Insekten.

Wir kamen vom Wege ab. —

Überblicken wir eine Anzahl von Tragflächen, wie sie die nur nach dem Erfolg urteilende Schöpferkraft der Natur hat entstehen lassen, — seien es die Tragflächen der automatisch stabilen Eindecker der Zanonia-Samen, seien es die Flügel unserer Vögel oder Insekten — so finden wir eine gewisse Übereinstimmung in der äußeren Form. Zunächst natürlich die Symmetrie der beiden Seiten der Tragfläche. Ihr Nutzen ist klar: Die Symmetrie ist im allgemeinen eine Anpassung an die Bewegungsfunktion; sie wird daher bei der am schwersten zu erlernenden Bewegung nicht fehlen dürfen. Weiter ist die Tragfläche allgemein länger als breit, bald mehr bald weniger auffällig.

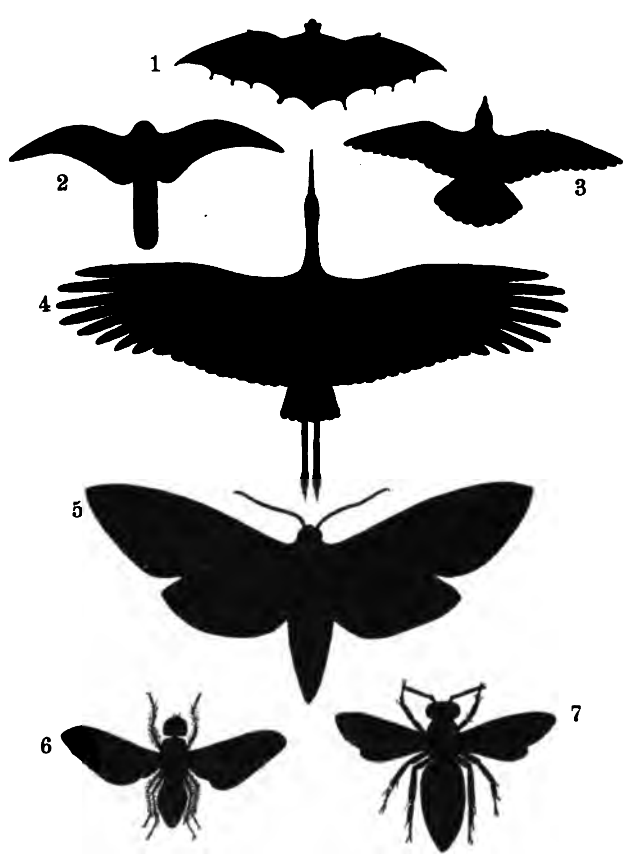
Da wir gewohnt sind, alle die Einrichtungen bei den Lebewesen, die nicht der individuellen Variabilität ihre Entstehung verdanken, als wenigstens nicht schädlich, in der Regel sogar als höchst nützlich anzusehen, so werden wir auch hier vermuten, daß die stärkere Ausbildung des Flügels in der Längsrichtung eine Anpassung an seine Funktion ist.

Der Flügel soll bekanntlich durch seine Schläge einen ausreichenden Trägheitswiderstand hervorrufen, um den Vogel oder das Insekt in der Luft zu halten. Wie erzielt das fliegende Tier

diesen Trägheitswiderstand, wie schafft es sich das federnde Luftpolster unter seinen Flügeln, das es selbst in die Höhe hebt? — Die Flügel sind Flächen, die wie Hebel um ihre Drehpunkte, die die Gelenke, bewegt werden. Dabei beschreiben die verschiedenen Stellen jedes Flügels verschieden lange Wege in der Luft, die dem Drehpunkte näher liegenden Teile kleinere als die entfernteren. Da nun die Zeit für die Bewegung für alle Teile dieselbe ist, so muß sich eine Stelle des Flügels um so schneller bewegen, je weiter sie von dem Drehpunkte entfernt ist. Nun wissen wir aber aus dem täglichen Leben, daß der Widerstand der Luft um so größer wird, je mehr die Geschwindigkeit der Bewegung zunimmt. Dabei ist es gleichgültig, ob sich ein Körper in ruhender Luft bewegt oder bewegte Luft an einem ruhenden Körper vorbeistreicht. Die Mechanik hat für diese Abhängigkeit des Trägheitswiderstandes von der Geschwindigkeit ermittelt, daß er schneller wächst als die Geschwindigkeit, bei doppelter Geschwindigkeit 4mal so groß, bei 3facher 9mal, bei 4facher 16mal so groß wird wie bei der Ausgangsgeschwindigkeit, d. h., kurz ausgedrückt: im Quadrat wächst, wenn die Geschwindigkeit linear (oder wie die Maße eines Linienstückes) zunimmt. Es werden also bei der Bewegung die äußeren Stellen des Flügels einen erheblich größeren Widerstand erfahren als die der Flügelwurzel zunächst gelegenen. Wenn sie jedoch diesen Widerstand überwinden, so werden sie dabei mehr Auftrieb liefern. Ein in Schwingungen versetzter Flügel wird also um so brauchbarer sein, je länger er ist, vorausgesetzt natürlich, daß die hinreichende Kraft da ist, ihn dann in eben so schnelle Bewegung zu setzen als wenn er breit am Körper ansitzen würde und kürzer wäre.

Ein anderer nicht minder wesentlicher Vorteil der Streckung des Flügels liegt darin, daß auf diese Weise auch beim Fluge ohne Flügelschlag, beim Segelfluge, der Trägheitswiderstand der Luft besser ausgenutzt wird. Versuche mit rechteckigen Platten haben nämlich ergeben, daß der Luftwiderstand gegen eine schräg gegen die Luft bewegte Platte nicht nur von der Größe der Platte und dem Neigungswinkel gegen die Bewegungsrichtung abhängt, sondern auch von ihrer Gestalt. Je länger nämlich der Vorderrand der Platte ist, desto größer wird im allgemeinen der durch ihre Bewegung hervorgerufene Trägheitswiderstand der Luft. Diesen aber nutzen die Flieger unter den Tieren aus. Es ist also auch aus diesem Grunde praktisch, wenn die Flügel lang und schmal sind. Zwar wurden jene Versuche mit dünnen Platten vorgenommen, bei denen also der die Vorwärtsbewegung

hemmende Stirnwiderstand der bewegten Platten sehr gering war; — beim Vogel ist dies bekanntlich anders, da ja die Flügel vorn nicht messerscharf, sondern im Gegenteil gerade hier am dicksten sind — dennoch ist offenbar der Nutzen durch die Er-



Flugbilder. 1. Fledermaus. 2. Turmfalk. 3. Taube. 4. Storch. 5. Kiefernschwärmer. 6. Fliege. 7. Biene.
(1, 3, 4 nach Lilienthal 2 nach Schmeil; 5, 6, 7 Orig.)

höhung des Auftriebes größer als der gleichzeitig entstehende Schaden infolge der Vermehrung des hemmenden Stirnwiderstandes.

Die Streckung des Flügels zeigt bei den meisten Insekten eine

auffällige Abweichung von dem Bau der höheren Flieger, der Fledermäuse und Vögel. Während nämlich die Insektenflügel in einiger Entfernung von dem Drehpunkte ihre größte Breite erreichen, ja diese gelegentlich sogar an den Flügelenden liegt, findet sie sich beim Vogelflügel in der Regel ganz dicht am Körper. Sollte das wieder Berechnung sein?

Betrachtet man diese Erscheinung von dem Gesichtspunkte der Flügelbewegung aus, so wird man offenbar die Insektenflügel für besser eingerichtet halten: können sie doch leichter bewegt werden und erzielen sie doch, weil der Schwerpunkt der Fläche weiter vom Drehpunkte entfernt ist, mehr Effekt. Wenn wir jedoch an den Flug ohne Flügelschlag denken, so würden wir wieder dazu kommen, den Vogelflügel als brauchbarer anzusehen: hier nämlich bilden Flügel und Körper eine zusammenhängende Tragfläche.

Damit scheinen wir wirklich die Verschiedenheiten als Anpassungen erklärt zu haben: Bei den Insekten nämlich spielt der Flügelschlag eine weit größere Rolle als bei den Vögeln. Diese nutzen den Luftwiderstand viel mehr durch Tragflächen aus. Eine Bestätigung findet unsere Annahme weiter darin, daß diejenigen der Insekten, die „segeln" können, und die allgemein ihre Flügel weit weniger schnell bewegen als die Mehrzahl, breit am Körper ansitzende Flügel haben, zum Teil sogar mit Flügeln versehen sind, die sich unter dem Körper fast zusammen schließen. Ich meine die Tagfalter.

Überhaupt scheint der Natur viel daran zu liegen, daß wenigstens jeder Flügel eine zusammenhängende Platte bildet, die der Luftdruck nicht trennen kann. Offenbar ist dann seine Wirkung am größten. Sehen wir uns daraufhin einen Vogelflügel an! Die großen Federn liegen hier dachziegelartig übereinander: der Hinterbart der einen deckt den Vorderbart der folgenden und wird vom Luftdruck so dagegen gepreßt, daß eine luftdichte Fläche entsteht.

Unter den Insekten sind in mehreren Ordnungen zwei Flügelpaare ausgebildet. Diese sind dann durch sinnige und zum Teil nicht einfache Einrichtungen zu einem Plattenpaare verbunden. Bei den Hautflüglern, den Bienen, Hummeln, Wespen usw. verrichten es eine Anzahl Häkchen, die am Vorderrande der Hinterflügel stehen und in eine Rinne am Hinterrande der Vorderflügel hineingreifen. Bei Schmetterlingen besitzt der Hinterflügel oft eine sogenannte Haftborste, die durch ein starres, am freien Ende straff zu einem Ringe zusammengelegtes Band hin-

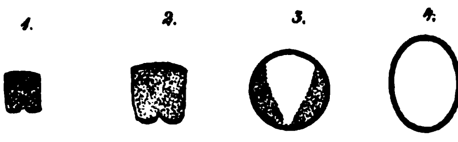
durchgeht, das sich auf der Unterseite des Vorderflügels befindet. Sind indes die Flügel nicht auf solche Weise verbunden, so klaffen sie am freien Ende oft auseinander und der Flug wird ungeschickt.

Im Gegensatze zum Vogelflügel bildet der Insektenflügel eine einheitliche Platte. Besondere Verbindungen der Teile sind daher nicht nötig gewesen, wohl aber eine Versteifung der dünnen Flügelhaut. Betrachten wir einen Insektenflügel näher, etwa indem wir ihn gegen das auffallende Tages- oder Lampenlicht halten, so erscheint er von einer großen Anzahl von Adern durchzogen. Die stärksten Adern verlaufen in der Längsrichtung des Flügels; schwächere verbinden sie untereinander. Der Flügel erscheint also in der Längsrichtung (d. h. in der Querrichtung des fliegenden Insektes) dazu eingerichtet, stärkeren Drucken standzuhalten als in der Querrichtung. Und wirklich wird der Flügel in der Längsrichtung am stärksten beansprucht. Denn diese Adern müssen gewissermaßen den Hebelarm bilden, an dem sich die bewegte Flügelfläche festhält. Jene schwachen Adern aber brauchen nur dem viel geringeren Drucke standzuhalten, dem der Flügel bei der Vorwärtsbewegung in der Luft ausgesetzt ist, einem Drucke, der bestrebt ist, den Flügel in sich zusammenzuschieben. Zwischen diesen Adern spannt sich eine zarte, doch ausreichend widerstandsfähige Membran aus, die die eigentliche Tragfläche bildet. Eine weise Einrichtung, diese Organe so leicht, wie es die Beanspruchung zuläßt, zu bauen! Hier würde sich nämlich eine Materialverschwendung noch mehr rächen als bei den Tragflächen oder Luftschrauben der Drachenflieger; müssen diese Teile doch in eine beständige schnelle pendelnde Bewegung versetzt werden, wobei einmal die Trägheit der bewegten, das andere Mal die der ruhenden Masse überwunden werden muß. Wenn dabei mehr Masse in Bewegung zu setzen oder aufzuhalten wäre, so würde offenbar Muskelkraft verschwendet, da ja der hebende Luftwiderstand nicht größer sein würde, wenn der Flügel schwerer gebaut wäre.

Nicht minder genial hat der Werkmeister Natur das Problem der Druckfestigkeit und Schwingungsfähigkeit beim Vogelflügel gelöst. Eine Vogelfeder ist ein Werk, das unsere Technik schon aus dem einen Grunde nicht nachbilden kann, weil wir noch kein Material herstellen können, das an Elastizität, Dauerhaftigkeit und Leichtigkeit mit dem Horn der Feder wetteifern könnte, einem Stoffe, den die chemischen Laboratorien der winzigen Zellen schon in Zeiten jenseits der geschichtlichen Morgenröte bildeten. Weiter:

mit welcher göttlichen Vorahnung der Beanspruchung wird hier bei der Flügelanlage im Ei und jungen Vogel Teilchen auf Teilchen gefügt von Zellen, die sich dem ganzen Organismus des Vogels willig opfern und doch von dem Nutzen ihrer Kleinarbeit keine Vorstellung haben können. — So meinen wir. Dennoch müssen wir ihnen eine solche Vorstellung zuschreiben, wenn anders wir nicht an die Stelle der Lösung des Rätsels ein Wort als Antwort setzen wollen, das nur das Echo unserer Frage ist: Instinkt.

An der Feder ist alles Berechnung, alles höchster Nutzen: Der Federkiel ist röhrenförmig, weil dadurch Material gespart wird, ohne daß die Festigkeit merklich darunter leidet. Sein Querschnitt ist elliptisch und zwar steht die Längsachse senkrecht zur Flügelfläche, weil beim Flügelschlag der stärkste Druck in dieser Richtung wirkt und so die größte Biegungsfestigkeit erreicht wird. Das-



Querschnittsbilder vom Kiel und Schaft einer Schwungfeder. 1 Schaftmitte. 2. erstes Viertel des Schaftes. 3. Übergang zwischen Kiel und Schaft. 4. Kielmitte.
(Nach Ahlborn.)

selbe Prinzip wendet der Zimmermann an, wenn er die Balken der Decke auf die schmale Seite stellt. Beim Übergang vom Schaft zum Stiel ist der Querschnitt fast kreisförmig, doch weist die Ausfüllung mit dem korkartigen Federmarke darauf hin, daß auch hier auf eine Beanspruchung in derselben Richtung gerechnet wird wie beim Kiel: das Mark legt sich den seitlichen Wandungen an, versteift diese also. Im oberen Teile der Feder ist die Druckfestigkeit wieder auf andere Weise erreicht. Der Querschnitt des Federschaftes ist hier etwa quadratisch, so daß die Seitenflächen den Druck mit ihrer ganzen Höhe aufnehmen. Eine stärkere gewölbte Platte stellt die Oberseite dar; auf der unteren dagegen ist das Wellungsprinzip angewendet: die Platte ist hier in zwei gewölbte Leisten aufgelöst, die in einer Längsfurche zusammenstoßen.

Alles ist also offenbar darauf angelegt, einem senkrecht zur Flügelfläche wirkenden Druck standzuhalten. Doch warum diese drei verschiedenen Maßregeln, um die Versteifung zu erreichen? Warum ist der Querschnitt nicht überall elliptisch, warum nicht

überall quadratisch? Eine Erklärung dafür scheint noch nicht gefunden. Ich meine, wir haben es hier wieder mit einer schönen Anpassung des Baues an die Funktionen zu tun. Die Feder nämlich muß außer der Druckfestigkeit und Schwingungsfähigkeit noch einer anderen Bedingung genügen: sie muß drehbar sein um ihre Längsachse, um beim Rückschlage die Luft hindurchzulassen, ja sogar zum Vortriebe zu verwenden. Daher darf sich der Schaft mit der Fahne nicht drehen, sondern die Drehung muß auf den Kiel und seine Befestigung in der Hülle beschränkt werden, wenn möglichst viel Effekt erreicht werden soll. Das aber geschieht durch die Veränderung der Querschnittsfigur: der obere Teil des Schaftes mit rechteckigem Querschnitt ist drehungsfester als der untere mit kreisförmigem oder elliptischem. — Und dieses Wunder der Technik schufen Zellen, die offenbar von Mechanik keine Ahnung haben!

Ja, die Durcharbeitung der Feder in mechanischer Hinsicht geht noch weiter. Wie bekannt ist, setzen sich an den Schaft der Feder beiderseits eine große Anzahl Fiedern an, die auf der breiteren Hinterseite der Federfläche von Hornlamellen gebildet werden, deren breite Seite senkrecht zur Federfläche steht: auch hier eine Einrichtung, einem senkrecht zur Federfläche wirkenden Drucke standzuhalten. Diese Fiedern erster Ordnung nun tragen jederseits dicht nebeneinanderstehende Fiedern zweiter Ordnung und diese wieder an ihrer der Spitze zugewendeten Seite Fiedern dritter Ordnung, die wie kleine Häkchen aussehen. Die Häkchen greifen über die Fiedern zweiter Ordnung der in der Richtung zur Spitze vorhergehenden Hauptfieder hinweg und verbinden so die Hauptfiedern zu einer Fläche. So kommt die winddichte Federfahne zustande, eine technische Höchstleistung der Natur.

Doch — wird man sagen — wäre es nicht auch vorteilhaft, wenn auch die Fiedern der Vorderseite der Schwungfedern von hochgestellten Lamellen gebildet würden, anstatt, wie es in Wirklichkeit ist, von biegsamen Borsten? — Antwort: Nein! Es wäre Materialverschwendung. Hier nämlich wird eine genügende Druckfestigkeit bereits auf diese Weise erreicht, da ja diese Teile der Feder von dem breiten Hinterbart der folgenden Feder überdeckt werden, also im Druckschatten liegen.

Vergleichen wir Federfahnen aus den verschiedenen Teilen eines Flügels, so finden wir, daß sie nicht gleichmäßig gebaut sind. Während beide Bärte bei den innersten Armschwingen nahezu symmetrisch zum Schaft ausgebildet sind, fällt bei den äußeren Handschwingen geradezu der Mangel an Symmetrie auf:

der Vorderbart ist viel schmäler als der Hinterbart. Sollte hier die Natur wieder etwas besonders Brauchbares geschaffen haben? So scheint es in der Tat. Versuche mit Platten aus Blech, die unter spitzen Winkeln gegen eine Flüssigkeit oder die Luft bewegt wurden, ergaben nämlich, daß der vordere Teil einen verhältnismäßig stärkeren Luftdruck auszuhalten hat als der hintere, daß der Druckmittelpunkt also dem vorderen Rande genähert ist. Erst wenn die Platte mit der Bewegungsrichtung einen rechten Winkel bildet, fällt der Druckmittelpunkt mit dem geometrischen Mittelpunkte zusammen. Dieses sogenannte „Avanzinische Gesetz“ meint Ahlborn hier zur Erklärung anwenden zu sollen: Der Flügel und jede Feder in ihm ist nämlich eine solche Platte, die unter einem spitzen Winkel gegen die Luft bewegt wird. Es soll daher wahrscheinlich sein, daß der Druckmittelpunkt beim Fluge auf den Federschaft fällt, also auf einen Teil, der ihm viel leichter standhalten kann als der hintere Bart der Feder. —

Ob wir hier nicht zu viel erklären, nicht zu viel Zweckmäßigkeit der Natur zugestehen? Der Vorderteil hat ja, wenn die Schwungfedern nicht gerade gespreizt sind, keinen Luftdruck auszuhalten, da er ja durch seine Lage in der Regel gegen den Druck geschützt ist! Dennoch wird diese Gestaltung nicht zufällig sein. Ich möchte ihren Nutzen darin sehen, daß sie das Hindurchströmen der Luft beim Flügelrückschlage erleichtert, weil meines Erachtens der Druckmittelpunkt dann nicht auf den Schaft, sondern dahinter fällt, die Feder also durch den Druck aufgerichtet wird.

Mit der Flughaut der Flattertiere, den Flügelplatten der Insekten verglichen, sind hier von der Natur ganz neue Wege eingeschlagen worden. Und wenn wir die alte mechanische Regel — daß eine Maschine um so zuverlässiger arbeitet, je einfacher sie ist — hier anwenden wollten, so würden wir offenbar zu dem Ergebnis kommen, daß der aus Tausenden von Teilen gebildete Flügel wegen seiner Kompliziertheit die beste Flugvorrichtung nicht sein kann. Dennoch aber ist es so. Der Vogel ist eben nicht bloß Maschine, sondern hier ist der Maschinenbauer mit der Maschine verwachsen und steht zu ihrer Reparatur zur Verfügung, wenn sie einmal versagen sollte. Der Vogel ersetzt bei der Mauserung sein Federkleid durch ein neues; dazu lassen sich kleine Schäden meist sofort ausgleichen. Wenn ein Vogel einmal gegen einen Zweig fliegt und dieser die Fläche der Federn zerreißt, so schließen sich diese sogleich wieder. Sogar der Verlust einiger Federn macht den Vogel noch nicht flugunfähig.

Anders die kurzlebigen Insekten! Hier ist eine so große Sorge

um den Flügelbau nicht nötig. Die Flügelplatte ist genügend standhaft, um ihren Träger noch zu überdauern.

Noch eine Haupteinrichtung des Vogelflügels bleibt zu betrachten, deren Bedeutung uns Otto Lilienthal entschleiert hat: die muldenförmige Wölbung des Flügels. Wir finden sie zwar schon, wenn auch schwach ausgeprägt, bei den Insekten, die gute Flieger sind. Doch handelt es sich hier meist nur um eine schwache Krümmung in der Längsrichtung des Flügels. Die mechanische Bedeutung ist klar: die Flügel sind in erster Linie von unten nach oben durchgebogen, so daß die Flügelspitzen nach unten zeigen. Sie sind daher gegen einen nach oben oder unten wirkenden Druck besser gefestigt, als wenn sie nicht gewölbt wären — ähnlich wie eine Brücke mit gewölbten Gurtungen. Außerdem wird dadurch die Luft am Ausweichen nach den Seiten zum Teil gehindert und dadurch zur Erzielung des nötigen Trägheitswiderstandes besser ausgenutzt.

Außer dieser Wölbung weisen einige Insektenflügel — z. B. von gutfliegenden Schwärmern, Hautflüglern und Zweiflüglern noch eine Wölbung in der Querrichtung der Flügel — also in der Richtung des Fluges auf. Auch sie dient zur Ausnutzung des Luftwiderstandes: sie schafft, wie wir sehen werden, Auftrieb und Vortrieb zugleich.

4. Der Flatterflug.

Wir hatten im vorstehenden die Tragflächen und Propeller betrachtet, die den Fliegern aus dem Tierreiche den Kraftflug ermöglichen.

Dieselbe Kluft, die die Kugelballons von den Motorballons trennt, besteht zwischen dem Treibflug der Pflanzensamen und den höheren Flugarten, dem Flatterflug der Insekten, Fledermäuse und Vögel und dem Gleit- und Segelflug einzelner Vögel. Hier hat die Natur den Motor, die Flügelmuskeln, geschaffen, die Auftriebflächen erfunden, nämlich die Flügel, und dem Körper die Steuer gegeben, d. h. Schwanz und Flügel.

Die Betätigung dieses Motors ist gleichfalls eine ähnliche wie beim Motorballon: wie dort die Propeller die Luft nach hinten werfen und dadurch einen Trägheitswiderstand hervorufen, der die Schraubenflügel und die damit fest verbundenen Teile des Ballons nach vorn stößt, so wirkt auch hier der Trägheitswiderstand als Rückstoß, jedoch mit dem doppelten Ergebnis, daß er einmal den Flieger vorwärts bewegt, dann aber auch ihn in der Luft schwebend erhält.

Vergleichen wir den stolzen Flug einer Schwalbe mit ihrem hilflosen Verhalten, wenn sie etwa in einen Schornstein gefallen ist, so werden wir finden, daß ein Aufflug steil nach oben viel mehr Kraft erfordern muß als ein Flug auf schwach ansteigender Bahn. Dann nämlich verteilt sich der Anstieg auf eine viel größere Wegstrecke und eine viel längere Zeit, ganz ähnlich wie bei einer schiefen Ebene, wo wir den Verlust durch Reibung willig auf uns nehmen, wenn wir nur nicht so viel Kraft auf einmal ausgeben müssen.

Dem Vogel macht es im allgemeinen bereits erhebliche Mühe, sich an einer Stelle schwebend zu erhalten. Die fluggewandteren Insekten dagegen vermögen es zum Teil anscheinend mühelos. Wer hat sich nicht schon über die Kunst der Schwebfliegen gefreut, die jetzt wohl eine halbe Minute und länger an einer Stelle wie angeheftet schweben, dann pfeilschnell ein Stück davonfliegen, um dann wieder, leise summend, in der Luft zu stehen? Hierbei wird die ganze aufgewendete Kraft dazu verbraucht, um der fortwährend auf den Tierkörper einwirkenden Erdanziehung eine Gegenkraft entgegenzusetzen. Einen Maßstab für die Erdanziehung haben wir im Gewicht des Körpers. Dessen Wirkung also muß fortgesetzt aufgehoben werden durch eine andere treibende Kraft, nämlich den Flügelschlag.

Nun wirkt diese Kraft beim nutzbaren Flügelschlag anscheinend in derselben Richtung wie die Erdanziehung, nämlich in der Richtung des Lotes zur Erde. Es scheint also, als müßten sich beide Kräfte noch verstärken. Das aber ist nicht der Fall. Wäre keine Luft um das Insekt herum, so würde die Kraft des Flügelschlages, des Angriffspunktes entbehrend, dem Tiere nicht nützen. Ein in Tätigkeit gesetztes Modell würde im luftleeren Raume genau so schnell fallen, als wenn sich die Flügel nicht bewegten. Denn es fehlte das eine, was bei jeder Eigenbewegung vorhanden sein muß: der Trägheitswiderstand des zugrunde liegenden Stoffes, in unserem Falle der Luft. Der Vogel wirft die Luft bei jedem Flügelniederschlage nach unten und die Luft ihrerseits wirkt, während sie dem Drucke nachgibt, auf den Vogelflügel zurück und hebt ihn und damit auch den Vogel. So halten sich beim Fliegen beständig zwei gleiche und entgegengesetzt gerichtete Kräfte das Gleichgewicht, so daß es so aussieht, als ob keine Kraft auf den Tierkörper einwirkt. Er bleibt in der Schwebe, jedoch nur dann, wenn beide Kräfte einander genau gleich sind und infolgedessen auch die beiden davon hervorgerufenen Bewegungen. Ist jedoch die eine Kraft größer, so

zieht sie den Körper in die Richtung ihrer Wirksamkeit. So zieht die Erdanziehung junge Vögel zur Erde, wenn diese ihr noch keine gleiche Gegenkraft entgegensetzen können. Ist jedoch der Auftrieb des Trägheitswiderstandes größer als das Gewicht, so erhebt sich der Flieger in größere Höhen.

Aber — so wird man einwenden — der Flieger kann seine Flügel doch nicht fortgesetzt senken, sondern muß sie nach jedem Niederschlage wieder heben. Dabei aber ruft er einen Trägheitswiderstand hervor, der ihn herabdrückt. Da nun der Vogel in Wirklichkeit schweben bleibt, so kann der beim Flügelaufschlag auftretende Trägheitswiderstand nicht so groß sein wie der entgegengesetzt gerichtete beim Niederschlag.

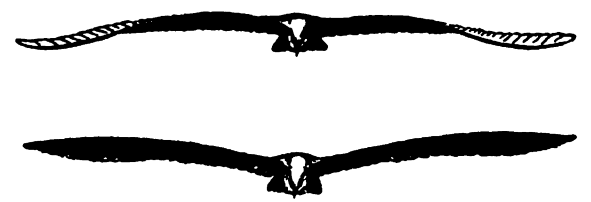
Um diese Wirkung zu erzielen, haben die Flügel der Vögel und Insekten eine bestimmte sehr zweckmäßige Form erhalten. Lediglich infolge des Flügelbaues werden durch dieselbe einfache Schlagbewegung nach unten und oben Trägheitswiderstände ausgelöst, die einmal den Niederschlag weit wirksamer erscheinen lassen als den Aufschlag, zweitens aber den Tierkörper auch vorwärtsschieben.

Momentaufnahmen fliegender Vögel, wie sie namentlich von Marey zahlreich vorgenommen wurden, haben nämlich gezeigt, daß der Vogel sich nicht in der Luft vorwärts rudert, daß er die Flügel nicht nach hinten, sondern nach unten bewegt, und zwar gerade dann, wenn er nicht auf der Stelle, sondern davonfliegen will. Wie kommt es, daß er trotzdem davonfliegt? Wo kommt die Kraft her, die ihn vorwärts schiebt?

Auf diese Frage können wir leicht eine Antwort erhalten, wenn wir mit einem getrockneten Flügel etwa eines Huhnes einige einfache Versuche anstellen. Bemühen wir uns nämlich, den Flügel genau senkrecht nach unten zu bewegen, so bemerken wir, daß er in der Richtung seiner Vorderkante ausweicht und zwar um so mehr, je mehr wir uns bemühen, den Schlag kräftig auszuführen. Dasselbe können wir beim Experimentieren mit einem künstlichen Flügel erfahren, den wir uns auf folgende Weise herstellen: Wir nehmen eine Gerte etwa von einem Haselnußstrauch, verbinden die beiden Enden durch eine Schnur und spannen diese. Die Gerte biegt sich dann an den dünneren Teilen stärker als an den dickeren und nimmt ungefähr den Umriß eines Vogelflügels an. Bekleben wir jetzt dieses Gestell mit Papier oder Stoff, so haben wir einen künstlichen Flügel vor uns. Dieser zeigt uns dieselbe Erscheinung wie der Vogelflügel, wenn wir ihn senkrecht nach unten zu bewegen versuchen: er

weicht beim Niederschlag in der Richtung des versteiften Vorderrandes aus. Wo kommt dabei die vortreibende Kraft her? Bei jedem Niederschlag wird der nichtversteifte Hinterrand durch den Luftwiderstand gehoben. Der Flügel gleitet also nicht parallel zu seiner horizontalen Ausgangslage nieder, sondern stellt sich schräg ein. Dabei wirkt der Luftdruck senkrecht auf die schräge Fläche und versucht sie also sowohl zu heben wie vorwärts zu schieben. Das Heben des Flügels verhindern wir durch den Niederschlag; gegen den unerwarteten Vortrieb aber leisten wir keine Kraft. Er kommt also ganz zur Geltung; d. h. der Flügel weicht nach vorn aus.

Ähnlich ist es beim natürlichen Flügel. Da nun die Punkte an der Flügelwurzel fast ruhen, während die äußersten Schwungfedern sehr schnell abwärts bewegt werden, so erfahren diese einen größeren Widerstand, werden also stärker gedreht werden



Fliegende Möven. Oben Niederschlag der Flügel; unten Aufschlag.

als die Teile an der Flügelwurzel, zumal ja der Widerstand schneller als die Geschwindigkeit wächst und die Flügelenden nicht so gut versteift sind wie die dem Körper mehr genäherten Teile. Am Flügelende wird also die Aufdrehung und demnach auch der Vortrieb stärker sein müssen. So ist es in Wirklichkeit. Sehen wir z. B. eine Möwe in Augenhöhe auf uns zu fliegen, so ist uns die Unterseite des Flügelgrundes und die Oberseite der Flügelspitze zugekehrt, also nach vorn gewendet. Die nach hinten aufgedrehte Flügelspitze ist es also, die beim Niederschlage den Vortrieb liefert, während die Flügelwurzel sogar etwas Rücktrieb liefern wird. Wegen der schnelleren Bewegung der Spitzen überwiegt jedoch der Vortrieb sehr erheblich.

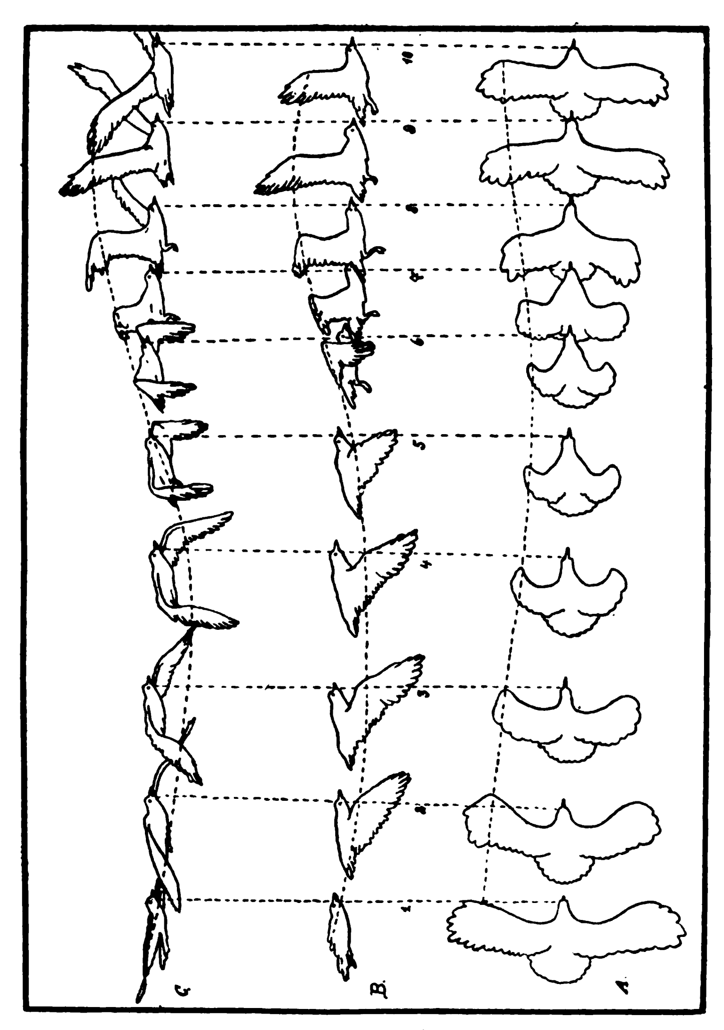
Genau das Entgegengesetzte tritt ein, wenn der Vogel die Flügel hebt. Dann wird wieder der nicht versteifte Hinterrand dem Druck nachgeben, sich also weniger schnell heben als der versteifte Vorderrand. Der Flügel kommt dann also in eine nach hinten und oben geneigte Stellung, so daß der Luftdruck

nach vorn und unten wirkt. Es wird also nicht die ganze Kraft des Aufschlages nützlich verwendet, sondern ein Teil drückt sogar den Flügel nieder. Aber es ist zweifellos als eine technische Leistung anzusehen, daß die Natur es verstanden hat, sogar aus solchen notwendigen Bewegungen Nutzen zu ziehen, von denen wir eine günstige Nebenwirkung nicht erwarten.

Noch weitere Umstände tragen dazu bei, die schädliche Wirkung des Flügelrückschlages möglichst zu vermindern. Beim Heben des Flügels wirkt, wie wir sahen, der Luftdruck von hinten und oben auf die Flügelfedern ein. Er trifft also die breiteren Hinterbärte der Federn. Diese aber entbehren unten eines Widerlagers und weichen dem Drucke aus, indem sich die Federkiele in ihren scheidenartigen Hüllen drehen. So kommt es, daß sich der Flügel beim Niederschlage jalousieartig öffnet und der Luft gestattet, nach unten auszuweichen, ohne den Vogel sehr herabzudrücken. Während die Luft diese Durchgangspforten durchstreicht, leistet sie noch nützliche Arbeit: sie trifft nämlich die schräggestellten Federn und wirkt auf diese ganz ähnlich wie auf die ganze Flügelspitze; d. h. sie liefert neben etwas Abtrieb noch einen nicht unbedeutenden Vortrieb. Obendrein wird die Schwinge noch beim Rückschlage durch eine Lockerung des Handgelenkes eingeknickt, und die Widerstandsfläche weiter vermindert.

Im allgemeinen aber führt der Vogel den Rückschlag nicht selbst aus, sondern läßt ihn den Luftwiderstand ausführen. Das geschieht in der Regel im schnellen Fluge. Die Flügel sind dann vorn etwas aufgerichtet und der scheinbar entgegenkommende Luftstrom treibt sie in die Höhe, von wo aus dann wieder der aktive Niederschlag erfolgt.

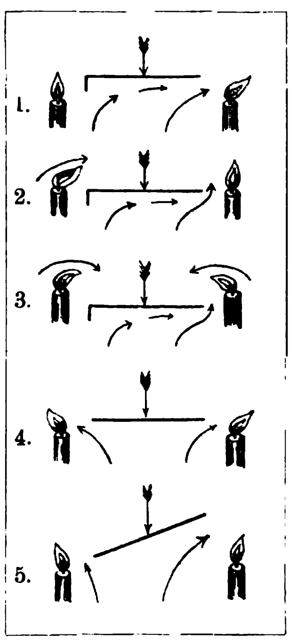
Daraus wird folgen, daß sich beim Aufschlag der Flügel die horizontale Geschwindigkeit des Vogels vermindert. Daß unsere Schlüsse richtig sind, zeigen uns Mareys photochronographische Aufnahmen einer fliegenden Möwe. Der fliegende Vogel wurde von drei senkrecht zu einander aufgestellten Apparaten in jeder Sekunde mehrmals, doch immer in denselben Augenblicken photographiert. So erhielt Marey gewissermaßen drei Projektionen auf die drei Ebenen des Raumes, und es wurde dem Auge erschlossen, was es ohne die Hilfe der Optik und Photochemie nie hätte erkennen können. Unsere Abbildung zeigt diese Geschwindigkeitsveränderung durch die Veränderung der Abstände desselben Vogels nach gleichen Zeitunterschieden. Die vertikalen Verbindungslinien der Schnabelwurzeln nämlich zeigen beim Aufschlag geringere Abstände als beim Niederschlag. Außerdem er-



Die aufeinander folgenden Stellungen einer fliegenden Möve. A von oben, B von der Seite, C schräg von vorn gesehen.
(Nach Marey.)

kennen wir, daß der Vogel beim Fluge durch Flügelschläge eine Wellenlinie beschreibt, indem er beim Niederschlage aufsteigt und sich beim Rückschlage senkt.

Für beide Bewegungen ist die Flügelwölbung von großer Bedeutung. Hat man doch in ihr zeitweise das ganze Geheimnis des Vogelfluges erblickt. Wir verschaffen uns davon leicht eine Vorstellung, wenn wir folgende Versuche ausführen, die Ahlborn in seinem bekannten Buche „Zur Mechanik des Vogelfluges" angibt. Wir nehmen ein Kartenblatt, etwa eine Postkarte oder große Besuchskarte und biegen sie nahe an der einen schmalen Seite rechtwinklig um. Dadurch wird eine Schranke für die Luft hergestellt, wenn diese bei einer Bewegung der Fläche zum Ausweichen gezwungen wird. Das Abströmen der Luft können wir leicht sichtbar machen, wenn wir das Kartenblatt zwischen zwei brennenden Kerzen hindurchbewegen. Es wird dann nur die eine Flamme abgelenkt, während die an der Seite der Schranke befindliche Kerze ruhig weiter brennt: ein Beweis, daß die Luft hier nicht abströmt. Erst wenn das Kartenblatt die Flammenhöhe passiert hat, macht sich der Strom der Luft bemerkbar, der bestrebt ist, sich hinter der Fläche zu schließen.



Versuche mit ebenen und mit einer Schranke versehenen Platten, um die Wirkung der Schranke auf die Richtung der abströmenden Luft zu zeigen.
(Nach Ahlborn.) 1., 2., 3. Platte mit Schranke an verschiedenen Stellen der Bewegung; 4. ebene Platte, horizontal bewegt; 5. ebene Platte, schräg bewegt.

Man könnte meinen, dieselbe Abweichung der Luft zu erzielen, wenn man eine ebene Platte nimmt, die so schräg gestellt ist, wie die Verbindungsfläche der beiden schmalen Seiten der umgebogenen Platte angibt. Der Versuch ergibt dann jedoch, daß noch ein großer Teil der abströmenden Luft um die tiefer liegende Kante herumströmt. Man muß schon eine sehr schräge Stellung wählen, wenn man erreichen will, daß die eine Flamme durch die unter der Platte ausweichende Luft nicht abgelenkt wird. Die Schrägstellung ist also nicht so wirksam wie die Knickung.

Wenn nun die Luft von der Schranke aufgehalten wird und, davon zurückgeworfen, dem anderen Ende der Fläche zuströmt,

so übt sie auf die Schranke einen Druck aus. Dieser Druckkraft steht jedoch auf der Außenseite der Schranke kein gleichstarker Gegendruck gegenüber. Daher wird die abströmende Luft die Schranke und daher auch die fest damit verbundene Platte in der Richtung der Schranke vorwärtsschieben, ganz ähnlich wie das aus einem Segnerschen Wasserrade ausströmende Wasser das Rad durch den sogenannten Rückstoß dreht. Die senkrecht nach unten bewegte Platte wird also wegen der Schranke zugleich schräg nach vorn in die Richtung der Schranke getrieben.

Soll der so gewonnene Vortrieb möglichst ausgenutzt werden, so muß die Schranke gewisse Bedingungen erfüllen: einmal darf sie offenbar nicht zu niedrig sein, da sonst noch ein Teil der Luft hinüberströmen würde; weiter darf sie aber auch nicht zu hoch sein, da sie sonst bei der Vorwärtsbewegung zuviel Stirnwiderstand finden würde. Es wird also die Schrankenhöhe zu der Plattenbreite in einem ganz bestimmten Verhältnis stehen müssen. Dieses Verhältnis ist jedoch abhängig von der Geschwindigkeit der Vorwärtsbewegung in der Luft. Wenn sich die Platte nämlich schneller bewegt, so wird der sogenannte relative Wind die hinter der Schranke befindliche Luft mit sich mitreißen und also ein Überströmen der Luft selbst über eine niedrige Schranke verhindern. Bei großen relativen Geschwindigkeiten — sei es daß sich die Platte schnell bewegt oder der Wind schnell daran vorbeistreicht — braucht also die Schranke nicht so hoch zu sein wie bei kleinen Geschwindigkeiten; ja, sie darf sogar nicht so hoch sein, da sonst der Stirnwiderstand zu groß werden würde.

Weiter muß, gleichfalls um den Stirnwiderstand möglichst herabzusetzen, die Richtung der Schranke in die Bewegungsrichtung fallen. Sie wird also nicht rechtwinklig zur Platte stehen dürfen, sondern unter einem stumpfen Winkel geneigt. Dadurch wird gleichzeitig eine größere Stauung und Wirbelbildung in der Luft vermieden, die die Bewegung hemmen würde. Soll dies noch vollkommener geschehen und die Platte die Luft möglichst glatt zerschneiden, so muß aus der geknickten eine gebogene Platte werden, damit die Schranke gleichmäßig in die vom Winde getroffene Fläche umbiegt und — wie eine Pflugschar die Schollen des Ackerbodens zur Seite gleiten läßt — die Luft sanft niederdrückt.

Das aber ist bei den gewölbten Flächen der Fall, die die Natur den Vögeln als Flügel gegeben hat. Darin liegt zugleich ein zweiter Grund für das Auftreten eines Vortriebes. Auch dieser Effekt wird lediglich infolge des Flügelbaues erreicht.

Welche weiteren Vorzüge die gewölbten Flächen gegenüber den ebenen haben, wurde erst klar, als die Brüder Otto und Gustav Lilienthal in Groß-Lichterfelde ihre grundlegenden messenden Versuche über den Luftwiderstand derartiger Flächen anstellten: Durch die Flügelwölbung wird ferner ein sehr günstiger Wert des Auftriebs erzeugt. Bei vielen Versuchen der Lilienthal hatte die Wölbung den Wert 1 : 12, d. h. es entfiel auf eine Flügelbreite von 12 cm eine Steigung von 1 cm oder allgemein: die Steigung betrug den 12. Teil der Breite der Fläche. Wurde eine derartige Fläche unter einem Neigungswinkel von 5° gegen den Horizont bewegt, also unter einem recht kleinen Winkel, wie er etwa die Schrägstellung eines Drachenfliegers gegen den Horizont angibt, so war der Luftwiderstand 0,77 (also etwa $^3/_4$)mal so groß als wenn die Fläche senkrecht gegen den Wind gestellt wurde. Bei einer ebenen Platte wäre in demselben Falle der Luftwiderstand nur 0,14mal so groß gewesen, als wenn der Luftstrom die Platte senkrecht getroffen hätte. Es ergibt sich also, daß eine solche gewölbte Fläche, unter dem angenommenen Neigungswinkel von 5° gegen die Horizontale bewegt, einen etwa 5mal so großen Trägheitswiderstand der Luft hervorruft als eine ebene Platte. Nehmen die Neigungswinkel zu, so wird der Effekt bei derselben Wölbung verhältnismäßig ungünstiger. Bei 15° Neigung ist der Widerstand noch etwa 3mal so groß als bei einer gleich schräg gestellten ebenen Platte.

Da nun aber kleine Flügel viel leichter bewegt werden können als große, so erspart der Vogel erheblich an Flugarbeit, wenn er kleine gewölbte Flügel hat, als wenn ihm die Natur große ebene Flügel gegeben hätte. Es hat also auch hier der unpersönliche Denker Natur eine Erfindung gemacht, die der weise Mensch erst so spät verstehen lernte — die er sich jetzt aber sehr zunutze macht.

Die Größe der Flügelwölbung ist bei den verschiedenen Vogelarten verschieden und kann selbst von demselben Tiere für verschiedene Flüge abgeändert werden. Zum schnellen Gleitflug wird sie durch Lockerung des Handgelenkes vermindert, zum kräftigen Flatterfluge so weit wie möglich vergrößert. Im allgemeinen brauchen schnell segelnde Vögel keine stark gewölbten Flügel und haben sie daher auch nicht; ja, sie können sie nicht einmal gebrauchen, da ja sonst der Stirnwiderstand zu groß werden würde und es ihnen nicht gelänge, den Flügelvorderrand in die Flugrichtung einzustellen, ohne gleichzeitig die Flügel

so weit nach vorn aufzukippen, daß sie einen großen Rücktrieb hervorrufen würden. Vögel dagegen, die mit kräftigem Flügelschlage die Luft durchmessen, die also die Luft unter großen



Kondor über den Gipfeln der Anden Südamerikas. (Originalzeichnung von E. Schoch.)

Stoßwinkeln treffen, können die stärkere Tragkraft mehr gewölbter Flügel ausnutzen und sind daher auch von der Natur damit ausgestattet. —

Der Flug der Insekten stimmt mit dem Flatterfluge der Vögel in den Hauptpunkten überein. Der Vortrieb wird auch hier durch die Art der Befestigung des Flügels erreicht, indem der Luftdruck den Flügel schräg stellt. Bei Insekten, die schweben und davonfliegen können, kommt eine aktive Verstellung der Flügelachse hinzu. Bei schwebenden Insekten und solchen, die man künstlich hindert, davonzufliegen, ist die Bewegung nicht nur ein Auf- und Niederschlagen des Flügels, sondern die einzelnen Punkte des Flügels beschreiben ungefähr das Bild einer Acht. Marey hat durch sinnreiche Versuche diese Bewegung festgestellt und dabei zugleich gefunden, daß ähnlich wie beim fliegenden Vogel auch hier der Aufschlag in kürzerer Zeit erfolgt als der Niederschlag. So wird erreicht, daß weniger Zeit verloren geht, während der das Insekt keine nützliche Flugarbeit leisten kann, daß also der Abtrieb infolge der dann allein wirkenden Erdanziehung nicht so groß ist, als wenn sich die Zeit eines Flügelschlages gleichmäßig auf Auf- und Niederschlag verteilte.



Schema der von einem Punkte eines Flügels eines schwebenden Insektes beschriebenen Bahn. Die Pfeile kennzeichnen die Bewegungsrichtung. (Nach Marey.)

Bei den Insekten spielt, wie schon angedeutet wurde, die Flügelwölbung eine viel geringere Rolle als bei den Vögeln und Fledermäusen. Es scheint, daß deren tragende Wirkung hier durch die Schnelligkeit der Flügelschläge ersetzt wird. Diese ist in vielen Fällen so groß, daß wir hier ganz andere Methoden zur Analyse des Fluges anwenden müssen als bei den Vögeln. Wenn ein Insekt seine Flügel mehrere hundertmal in einer Sekunde auf und nieder bewegt, so können uns die photochronographischen Aufnahmen nicht viel nützen. Doch sind die neuen Methoden überraschend einfach. Marey wandte dazu die graphische Methode an, die wohl die überzeugendste ist. Man befestigt oder hält dabei das Insekt, dessen Flügelschwingungszahl man bestimmen will, so, daß die vertikale Körperachse der Achse eines bewußten und durch ein Uhrwerk in gleichmäßige Rotation versetzten Kreiszylinders parallel ist und die Flügelspitze gerade die Oberfläche des Zylinders berührt und bei jeder Schwingung ein wenig Ruß abtreibt. Aus der Zeit und der Anzahl der Striche kann man dann leicht berechnen, wieviel Schwingungen in einer Sekunde ausgeführt wurden.

Eine andere Methode habe ich die akustische genannt. Da nämlich die Flügelschwingungen der meisten Insekten so schnell erfolgen, daß man einen Flugton hört, und da jeder Tonhöhe eine ganz bestimmte Schwingungszahl entspricht, so kann man durch Ermitteln des Tones gleichzeitig die Anzahl der Flügelschläge bestimmen, die in jeder Sekunde erfolgen. Unsere Stubenfliege summt z. B. oft den Ton f'. Diesem Tone entspricht die Schwingungszahl 352 oder mit anderen Worten: Wenn ein Instrument den Ton f' gibt, so treffen in jeder Sekunde 352 wellenartige Luftverdünnungen und Verdichtungen unser Ohr. Also machen die Flügel einer Stubenfliege etwa 352 Schwingungen in jeder Sekunde.

Auf Grund einer Reihe von Werten, die durch diese Methoden ermittelt waren, habe ich dann eine Formel aufzustellen versucht, die uns angibt, in welcher Abhängigkeit die Anzahl der Flügelschläge von den Körperdimensionen des fliegenden Tieres steht. Offenbar müssen die Flügelschläge um so schneller erfolgen, je mehr Gewicht auf die Einheit der Flügeloberfläche entfällt. Doch es zeigte sich, daß die Schwingungszahl diesem Ausdruck keineswegs parallel geht. Von erheblicher Bedeutung ist die Flügel- und Körpergröße des Tieres an sich. Im allgemeinen muß ein Insekt bei gleichem Verhältnis von Körpergewicht zur Flügeloberfläche um so mehr Flügelschläge in jeder Sekunde ausführen, je kleiner es ist. Bei einer Flügellänge zwischen 3 und 15 mm wächst nämlich die Schwingungszahl ungefähr umgekehrt proportional der dritten Potenz der Flügellänge, bei größeren Insekten ungefähr umgekehrt proportional der zweiten Potenz.*)

Worin mag diese eigentümliche Tatsache ihren Grund haben? Er kann meines Erachtens nur darin liegen, daß bei kleinen Fliegern die Luft nach den Seiten zu leichter abströmt, so daß die mittleren Teile größerer Flächen zur Erzeugung eines brauchbaren Trägheitswiderstandes mehr Wert haben. Oder mit anderen Worten: Der Luftwiderstand der Flächeneinheit von Tragflächen ist um so kleiner, je kleiner die Fläche selbst ist und wächst schneller als die Flächengröße zunimmt. Daher trägt eine doppelt so große Fläche mehr als das Doppelte von dem was die einfache Fläche tragen kann.

Wir haben also durch unsere zoophysikalischen Beobachtungen

*) Näheres in meinem Buche: „Die Lautapparate der Insekten,“ (Berlin 1907.)

und Schlußfolgerungen dasselbe Ergebnis gewonnen, das der Erbauer des Eiffelturmes, G. Eiffel, durch direkte Versuche mit Platten erhalten hat: der Luftwiderstand wächst schneller als die Flächengröße.

Für große Dimensionen ist eine nähere Beziehung meines Wissens noch nicht ermittelt. Die Flugtechnik hat gegenwärtig, scheint es, nur das eine Hauptinteresse, die Schaulust des großen Publikums durch Rekordleistungen zu befriedigen. Zwar ist die vorliegende wie viele andere Fragen der Aviatik keine der brennendsten, da bei großen Dimensionen die Trägheitswiderstände der Luft nicht allzuviel schneller zunehmen werden, als die Fläche wächst; dennoch ist sie zweifellos nicht ohne Bedeutung.



Fliegende Albatrosse (Diomédea melanophrys und fulipinosa).
(Nach Momentaufnahmen der deutschen Südsee-Expedition.)

5. Der Gleit- und Segelflug der Vögel.

Gleit- und Segelflug sind im Tierreich auf die größeren Flieger beschränkt. Den Gleitflug üben die Vögel niemals andauernd aus — kommen sie doch der Erde dabei immer näher — sondern sie schlagen zeitweise mit den Flügeln, legen dann die Flügel mehr oder weniger an den Körper an und schießen nun wie ein Pfeil auf einer abschüssigen Bahn herab. So kommt der Wellenflug vieler Vögel zustande: der Flügelschlag hebt sie und

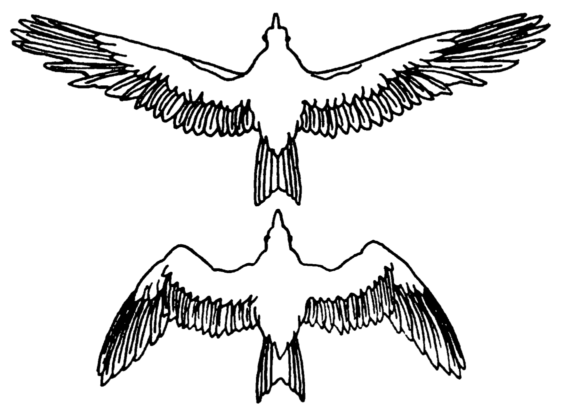
vergrößert ihren Energievorrat; der dann einsetzende Gleitflug trägt sie in allmählich langsamer werdendem Tempo herab.

Der eigentliche Gleit- und Segelflug jedoch ist auf eine Minderheit größerer Vögel beschränkt. Den Grund dafür erblicke ich in dem eben erwähnten Luftwiderstandsgesetze. Bei kleinen Fliegern, besonders bei kleinen Insekten ist der Luftwiderstand nicht nur an sich, sondern auch im Verhältnis zum Körpergewicht zu klein als daß die Tiere den Gleit- oder den Segelflug ausüben könnten. Nur gelegentlich sieht man größere Tagfalter, bei denen die Flügelfläche nur einen kleinen Körper zu tragen hat, einen kurzen Gleitflug ausführen, meist nur dann, wenn sie landen wollen.

Der Gleitflug bietet nichts sonderlich Geheimnisvolles dar. Sahen wir doch bereits, daß auch Samen bei günstiger Bauart einen ruhigen, sicheren Gleitflug ausführen können. Hier können die Flächen nicht willkürlich verstellt werden; wir brauchen also die Vögel nicht im Verdacht zu haben, daß sie beim Gleitfluge übernatürliche Künste üben.

Jeder Gleitflug ist mit einer merklichen Senkung verbunden, die namentlich zu Anfang groß ist, wenn der Körper nicht bereits durch den Flügelschlag eine große horizontale Geschwindigkeit erlangt hat. So sehen wir bisweilen Krähen und andere Vögel von einem Baume ohne Flügelschlag herabschweben, zuerst schnell absteigend, dann fast horizontal schwebend und zum Schlusse wieder schwach ansteigend. Zuerst nimmt dabei die Geschwindigkeit ähnlich wie beim freien Fall schnell zu. Wenn dann die Eigengeschwindigkeit des Vogelkörpers groß geworden ist, so gleitet er in derselben Zeit über größere Luftmassen hinweg als vorher und nutzt ihren Trägheitswiderstand aus. Er fällt dann also langsamer. Allmählich aber wird die in seinem Körper steckende lebendige Kraft von dem Luftwiderstande verzehrt und die Geschwindigkeit nimmt ab. Manche Vögel mögen dann wohl noch, um den Abtrieb zu vermindern, auf Kosten der Geschwindigkeit ihre Flügel nach vorn aufrichten. Soll nun die Landung erfolgen, so muß noch der Rest der lebendigen Kraft vernichtet werden, damit der Vogel nicht auf den Schnabel fällt. Das erreicht er so, daß er die Flügel schnell noch weiter aufrichtet und so ihre Widerstandsfläche erheblich vergrößert. Der Gegendruck hebt ihn dann noch etwas, worauf er sich sanft zur Erde niederläßt. Ähnlich vollzieht sich die Landung, wenn sich der Vogel auf einem Zweige niederlassen will; doch wird hierbei der Auftrieb oft noch nützlich verwendet.

Um ein schnelles Abgleiten zu ermöglichen, verändern die Vögel ihre Flügelhaltung in der Regel. Sie ziehen die Schwinge zurück und verlegen dadurch den Druckmittelpunkt nach hinten, so daß der Flieger stärker vorlastig erscheint. Der Körper be-



Segel- und Gleitflugstellung. Oben Segelflug, unten Gleitflug. (Nach Marey.)

kommt also eine Neigung nach vorn und gerät so in die Gleitstellung. Gleichzeitig wird dadurch die Wölbung verflacht und so dem schnelleren Fluge angepaßt. Beim Segelfluge hingegen hält der Vogel seine Flügel weit ausgebreitet. Der Flieger ist daher nur schwach vorlastig und die Wölbung ist nicht absichtlich verkleinert.

Ein staunenerregender Anblick, wenn die großen Segler im Winde dahinschweben, ohne Flügelschlag, im ruhigen, anscheinend mühelosen Fluge! Ein Rätsel, das man sich lange Zeit vergebens bemühte zu lösen. Dann fand man eine Lösung nach der anderen — ein Beweis, daß man eigentlich immer noch keine gefunden hatte. Das eine aber wußte man längst: Hier steckt das wahre Geheimnis des Fluges. Wenn der Mensch auch zu schwach ist, um künstliche Flügel von solcher Größe, daß sie ihn tragen könnten, zu bewegen — er müßte dazu über eine Pferdekraft leisten —, so könnte er doch, wenn er einmal das Geheimnis des Segelfluges ganz durchschaut hat, auf dieselbe Weise fast mühelos fliegen wie die großen Segler. Könnte er es doch noch bequemer haben als sie, da er ja die Flügel nicht durch Muskelkraft gespannt zu halten braucht, sondern die Spannung

auf mechanischem Wege erreichen könnte! Hier mußte also die Forschung in erster Reihe einsetzen, wenn man dem Menschen den Kraftflug ermöglichen wollte.

Aber es dauerte lange, bis man sich überhaupt von der Möglichkeit des tierischen Segelfluges überzeugte. Man wollte es nicht glauben, daß ein stundenlang andauernder Segelflug möglich sei, weil ja in jedem Widerstand leistenden Körper jede Bewegung endlich einmal zur Ruhe kommen muß und sei ihre Geschwindigkeit zu Anfang so groß wie nur immer möglich. Schien doch hier ein echtes Perpetuum mobile vorzuliegen — eine Vorrichtung, die aus dem Nichts andauernd Arbeit erzeugt. Denn daß Arbeit im Fluge geleistet wurde, war sicher: wurden doch beständig zwei Kräfte überwunden, die Reibung und die Erdanziehung. Man könnte zwar meinen: wo läßt der Vogel die Energie, die er mit der Nahrung aufnimmt, wenn er sie nicht im Fluge ausgibt? Doch wäre zu erwidern: Der Vogel strahlt beständig Wärme aus; diese muß beständig wieder ersetzt werden; zudem muß er die Flügel durch Muskelkraft ausgespannt halten. Die aufgenommene Energie braucht also ihr Äquivalent nicht in der Flugarbeit zu haben. Ein Segelflug mit sehr geringem Kraftaufwand ist also theoretisch möglich, daher auch die Konstruktion eines Modells eines Segelfliegers, das sich, richtig gesteuert, im Winde hält. Solch ein Modell wäre also ein wirkliches Perpetuum mobile, eine Maschine, die arbeitet ohne Energie auszugeben — dennoch kein Perpetuum mobile in der üblichen Bedeutung des Wortes. Die Kraftquelle ist ja nicht unbekannt: es ist der Wind mit seiner bekannten trägen Gewalt, der am Segler für den Segler die Flugarbeit verrichtet, ebenso wie er uns die Achse der Windmühlenflügel dreht. Daher ist ein Segler ebensosehr oder ebensowenig eine Maschine, die Arbeit aus nichts leistet, wie eine Windmühle dies ist. Drehen wir eine Windmühle soweit um, daß die Flügel in einer horizontalen Ebene liegen, so haben wir einen parallelen Fall zu dem Segler. Der aus einer Richtung wehende Wind muß also imstande sein, an einer Maschine Arbeit zu leisten, solange er weht. Denken wir uns nun eine Windmühle so leicht gebaut, daß die so gewonnene Arbeit die Maschine selbst tragen könnte, so hätten wir einen künstlichen Segler — der uns aber vom Winde fortgeweht werden würde und dann die Windkraft nicht mehr ausnutzen könnte.

So leicht ist die Lösung des Segelfliegerproblems also nicht. Energie steckt zwar im Winde in großen Mengen, gegen das Grundgesetz von der Erhaltung der Energie streitet also der

Segelflug nicht, aber es ist nicht leicht, diese Energie durch einen Apparat nutzbar zu machen, der sich erst mit ihrer Hilfe in der bewegten Luft einen festen Halt verschaffen muß. Das aber muß der segelnde Vogel gelernt haben, und hierin liegt sein Geheimnis.

Ein großer Teil der Energie, die der Vogel dem Winde entnimmt, wird von der Erdanziehung verzehrt, der Rest dient in der Hauptsache zur Fortbewegung.

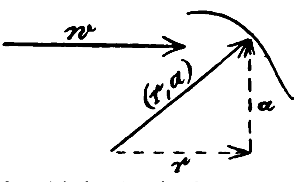
Man meinte lange, daß der Segler nicht so viel Energie aufwenden könne, wenn ihm nicht aufsteigende Luftströmungen tragen würden, und noch heute findet sich diese Auffassung — wohl hauptsächlich deshalb, weil sie an die Denkkraft geringe Anforderungen stellt. Nach solchen Luftströmungen brauchte man nicht lange zu suchen. Die Erwärmung der Lufthülle der Erde geschieht in der Hauptsache durch aufsteigende Luftströme. Denn die Sonnenstrahlen durchdringen die Luft fast ungeschwächt und erwärmen zunächst den Erdboden oder das Wasser. Von hier aus teilt sich die Wärme den unteren Luftschichten mit. Da diese dadurch leichter werden, steigen sie in die Höhe. Außerdem werden horizontale Winde oft durch Küsten und Gebirge in schräg oder gelegentlich sogar senkrecht aufsteigende Luftströme verwandelt. Derartige vertikale Winde sollten die Segler tragen. In der Tat müssen diese Strömungen oft erhebliche Geschwindigkeiten erlangen, die die Schnelligkeiten der horizontalen Winde noch übertreffen. Aber die Segler schweben nicht dort, wo diese Winde wehen, sondern in großen Abständen davon und hoch über den Küsten. Ja, sie segeln über dem offenen Meere, dessen Wellen unmöglich starke Winde aus ihrer Bahn ablenken, und in Höhen von mehreren Hundert Metern schleudern können.

Auch die von Lord Rayleigh und Langley aufgestellten Hypothesen über die Möglichkeit des Segelfluges sind nicht brauchbar: der Vogel soll danach die verschiedenen Windstärken ausnutzen, die sich ihm in der Luft entweder nebeneinander oder nacheinander darbieten. Diese Hypothesen übersehen nämlich in erster Linie die hemmende Wirkung des Windes, die durch keinerlei Flügel beseitigt werden kann. Zudem sprechen sie dem Vogel wohl zu viel flugtechnische Fertigkeiten zu. Schließlich dürften die Windschwankungen nicht so häufig sein, wie es diese Hypothesen annehmen.

Eine wirkliche Lösung des Problems des Segelfluges brachte Fr. Ahlborns Werk: „Zur Mechanik des Vogelfluges", das leider

recht wenig bekannt geworden ist. Ahlborn ging von der Beobachtung aus. Von vornherein war klar, daß ein Segelflug in ruhender Luft unmöglich wäre. Es ergab sich weiter, daß ein Segelflug im allgemeinen ohne häufiges „Kreisen" nicht stattfindet.

Die Überlegung wird uns zeigen, daß er in gerader Linie gegen den Wind wie mit dem Winde unmöglich ist. Genau wie ein Drachen, dessen Schnur plötzlich reißt, sich sogar bei günstiger Bauart nicht im Winde hält, sondern mit dem Winde treibt und daher keinen Auftrieb mehr liefert, sondern bald zur Erde stürzt, so kann auch ein Vogel nicht mit dem Winde fliegend dessen Kraft ausnutzen. Gegen den Wind aber kann eine Flugbewegung, selbst wenn sie anfangs mit sehr großer Geschwindigkeit erfolgte, ohne Arbeitsleistung nicht andauern, da der Gegenwind die Bewegung beständig hemmt und schließlich ihren Stillstand herbeiführt. Zwar vermag der Vogel, durch seine Flügelstellung und dank deren Bau einen Teil der Kraft des Gegenwindes in Auftrieb zu verwandeln; dennoch bleibt immer eine beträchtliche hemmende Wirkung übrig, die schließlich die lebendige Kraft jeder Bewegung vernichtet. So wenig es einen Drachen geben kann, der dem Winde dauernd entgegenschwebt, so wenig kann ein Vogel diesen Flug ausführen. In der Sprache der Mechanik gesprochen: Eine Kraft kann nicht durch eine andere senkrecht dazu wirkende Kraft aufgehoben werden.



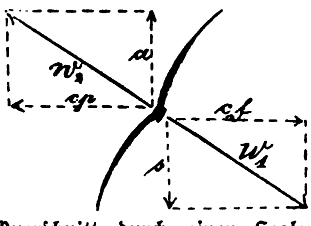
Querschnitt durch einen Flügel mit Kräfteschema.

Der Winddruck w wird durch den Flügel umgewandelt in den nutzbaren Winddruck (r, a), der mit dem Auftrieb a und dem Rücktrieb r gleichbedeutend ist.

In gerader Bahn gegen den Wind kann also ein Segelflug dauernd nicht erfolgen. Unzweifelhaft aber muß der Vogel gegen den Wind fliegen, wenn er seine Flügelwölbung und die Energie des Windes benutzen will. Es kommt also beim Segelfluge darauf an, daß die rücktreibende Teilkraft des Windes aufgehoben wird. Das erreichen die Segler in einfacher Weise dadurch, daß sie durch eine bestimmte Flugbewegung eine neue Kraft hervorrufen, die dem Rücktrieb des Windes das Gleichgewicht halten kann: Sie fliegen im Bogen gegen den Wind und rufen dadurch einen nach außen gerichteten Trägheitswiderstand hervor, indem sie die Flügelflächen schräg stellen, ähnlich wie ein Radfahrer in einer Kurve seine Körperachse nach innen

neigt. Dadurch ist also die Möglichkeit gegeben, die Energie des Windes auszunutzen.

Was machen sie nun mit der lebendigen Kraft des Windes? Indem sie so in schräger Stellung gegen den Wind anfliegen, benutzen sie einmal den Trägheitswiderstand des wirklichen Windes, sodann auch den des von ihnen erregten relativen Windes, um ihn gegen ihre Flügelunterseite drücken zu lassen. Ähnlich wie beim Flug durch Flügelschlag oder beim Gleitflug die Luft unter den Flügeln die Flügelenden aufdreht, so daß sie gleichzeitig Vortrieb und Auftrieb liefert, so wird auch hier beim Segelflug der Luftdruck des Windes in der Hauptsache zum Vortrieb verwendet. Während die Segler also im Bogen gegen den Wind fliegen, vermehren sie ihre Geschwindigkeit. Nur sind sie in der Lage, sich auf Kosten der jetzt in ihnen steckenden Wucht von dem Druck der ihnen entgegenkommenden Luft in die Höhe heben zu lassen. Ihre lebendige Kraft ist es also, die ihnen in der Luft den Halt gibt.



Querschnitt durch einen Segler im Luvbogen mit Kräfteschema beim Gleichgewicht.

Außen wirken der vom Zentrum weggerichtete (zentrifugale) Trägheitswiderstand c f und die Schwerkraft s. Beide können ersetzt werden durch die Gesamtkraft W_1. Dieser ist entgegengesetzt gleich der Winddruck w_2, der sich in die Teilkräfte c p (Zentripetalkraft) und a (Auftrieb) zerlegen läßt. c p und c f, s und a heben sich gegenseitig auf.

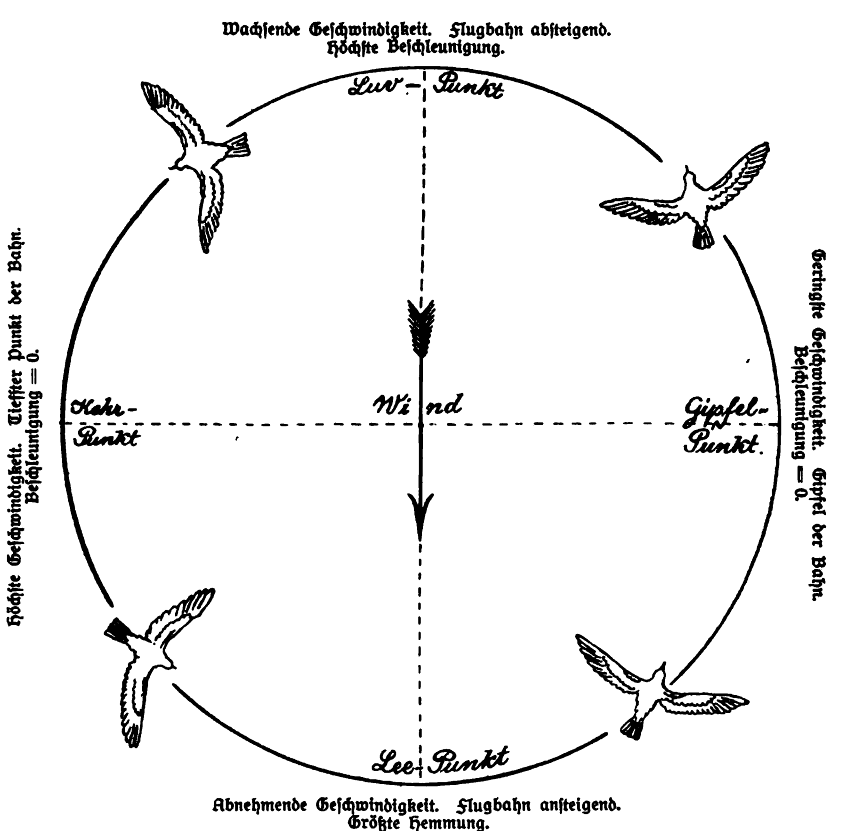
Das ist das Geheimnis des Segelfluges.

Dieser Flug wird in der Regel in nahezu kreisförmiger Bahn ausgeführt und läßt sich leicht in zwei Bögen zerlegen, den Luvbogen, der dem Winde seine Wölbung zukehrt, und den Leebogen, der den ersten zu einem Kreise ergänzt.

Soll der Vogel diese Bahn innehalten, so darf er wegen des Windes nicht in der Richtung des Kreisbogens fliegen, sondern muß sich in jedem Teile dem Winde zukehren. Seine Längsachse weist also auf dem Luvbogen nach außen und auf dem Leebogen nach innen. Gleichzeitig erreicht der Vogel dadurch, daß er den Wind nur ganz kurze Zeit — nämlich im Kehrpunkt — im Rücken hat. Dazu dient weiter das Aufrichten der Flügel während des Fluges auf der Leeseite, das der Flugbahn auf dieser Strecke eine erst langsam und dann schneller steigende Tendenz gibt. Um die Beschleunigung des Fluges auf dem Luvbogen noch zu steigern, wird hier oft eine Art Gleitflug ausgeführt: der Flug führt etwas abwärts und der Vogel

benutzt dabei die beschleunigende Kraft des Windes sowohl wie die der Erdanziehung.

So wird einmal dem Winde Energie abgewonnen — in der Gestalt von Bewegungsenergie oder Wucht — und sodann wird



dieselbe Energie zumeist umgesetzt in Energie der Lage, indem der Vogelkörper gehoben wird. Könnten wir dieses Wechselspiel nachahmen, so hätten wir das Problem gelöst, das einst den Flugtechnikern als Ideal vorschwebte und das auch heute noch von Gustav Lilienthal als Ideal gezeichnet wird.

Wie kommt es, daß uns die Zeitspanne eines halben Menschenalters, die seitdem verstrichen ist, die praktische Lösung nicht geschenkt hat? —

II.

Die Lösungen des Flugproblems durch die Technik.

1. Die Schwingenflieger.

Wollte man dem Menschen den freien Flug erschließen, so lag der Versuch am nächsten, es ebenso zu machen, wie die Natur es gemacht hat: Den Flugapparat des Vogels genau zu kopieren und die künstlichen Flügel durch die Kraft der Muskeln in Bewegung zu setzen. Diese Lösung des Flugproblems wurde auch in Wirklichkeit lange Zeit hindurch immer wieder versucht.

Die Schwingenflieger waren entweder kleine Vogelmodelle, deren Flügel in auf- und abwärts gerichtete Bewegungen versetzt wurden und das Modell nach genau denselben Gesetzen vorwärts bewegten wie die Flügel den Vogelkörper, oder es waren große Apparate zum persönlichen Kunstfluge.

Schon vor fast vierhundert Jahren hatte einer der umfassendsten und genialsten Denker aller Zeiten sich mit dem Problem des persönlichen Kunstfluges nach Art des Schwingenfluges der Vögel beschäftigt und manche gute Idee über seine Verwirklichung gehabt. Leonardo da Vinci, Künstler und Naturforscher zugleich, hatte das Hauptgeheimnis des Vogelfluges erfaßt, nämlich daß sich der Vogel durch die Flügelschläge in der Luft einen Stützpunkt verschafft, indem er die Luft verdichtet. Der Körper des homo volans sollte nach Leonardos Skizzen auf einem Stangengerüst so ruhen, daß die größere Kraft der Streckmuskeln der Beine zur Bewegung der Flügel ausgenutzt werden konnte. Das Auge des Anatomen und Malers hatte erkannt, daß der schwache Arm des Menschen dazu nicht ausreichen würde. Rollen und Schnüre sollten zur Übertragung der Kraft auf die Flügel dienen. Während die Arme diese durch zwei Hebel aufrichten sollten, hatte ein kräftiges Strecken der Beine einen Niederschlag der Flügel herbeizuführen. Leonardo sah ein, daß eine Kopie des Vogelflügels zu schwierig wäre und versuchte daher die Nachbildung der Flughaut der Fledermäuse.

Die einzelnen Teile sollten durch Gelenke verbunden werden, die den Fingergelenken nachgebildet waren. Nach einer der Skizzen sollte eine Schnur das Ausstrecken, eine andere das Zusammenlegen der Flughaut ausführen. Bald jedoch muß es ihm eingefallen sein, daß er die eine Schnur sparen könne: Ein spanisches Rohr war dazu bestimmt, die Ausbreitung automatisch herbeizuführen. — An eine Ausführung seiner Idee ist Leonardo vermutlich nicht herangetreten. Seine Träume blieben mit seinen Skizzen verborgen und wurden erst in neuerer Zeit publiziert.

Nachdem verschiedene andere Projekte von Schwingenfliegern im Laufe des 18. Jahrhunderts gescheitert waren, trat ein Wiener Uhrmacher, Jakob Degen, mit einem originellen Flugproblem an die Öffentlichkeit. Er ließ im Jahre 1808 eine Broschüre



Schwingenfliegen von Jakob Degen
(Nach Nimführ: „Luftschiffahrt und Flugtechnik".)

erscheinen, in der er „die Beschreibung einer neuen Flugmaschine" gab. Über die Ziele seiner Versuche sagt er: „Es ist nicht bloß um die Frage zu tun, ob es dem Menschen möglich sei, nach der Art der Vögel zu fliegen, oder nicht . . . Meine Versuche sollen zur Prüfung der verschiedenen Mittel, die sich Menschen zum Fluge ausgedacht haben, dienen. Sie sollen Beobachtungen über den Widerstand der Luft, über die Kräfte der Menschen und der Vögel und über die Anwendung derselben veranlassen; sie sollen zur Bewunderung der Geschicklichkeit jener Geschöpfe hinreißen, deren Bekleidung, Gestalt und Stimme wir schon oft bewundert haben." — Und wie wollte er dieses sein Ziel erreichen? Er nahm die Maße für die Flügel von dem Adler, indem er sich diesen so vergrößert dachte, daß er so schwer würde wie ein Mensch. Auf Grund dieser Überlegung benutzte er eine Tragfläche von 12 qm. Degens Apparat stellt keinen Versuch einer Kopie der Flugmaschine des Vogels dar. Die Flügel bewegten sich nicht in Gelenken, sondern waren durch eine horizontale Stange

zu einem elastisch starren Ganzen verbunden. Der Flieger selbst stand auf einer weiteren Horizontalstange und bewegte diese sowohl wie die erste auf und nieder, wenn er sich gegen die untere Stange stemmte und die obere zu sich emporzog. So nutzte der geniale Techniker die gesamte Körperkraft vorzüglich aus. Der Apparat war außerordentlich leicht und standhaft gebaut. Er wog nur 9 kg. Dieses geringe Gewicht erreichte Degen durch eine fein ersonnene Gliederung des ganzen Fluggerätes. Jeder Flügel bestand aus 3500 einzelnen Klappen. Holzstangen, Schilfrohre, Seidenfäden und gefirnißtes Papier dienten als Materialien. Degen wußte bereits, daß der vertikale Aufstieg, für den sein Apparat gebaut war, von allen Flugarten die schwerste sei. Dennoch schien sie ihm für den Anfang die einzig mögliche. Die Versuche ergaben, daß durch die Schwingenbewegung ein ziemlich bedeutender Auftrieb erreicht wurde: Degen vermochte, wenn auch nur einige Sekunden lang, das Körpergewicht bis auf einen Rest von 33 kg in der Schwebe zu halten. Um diesen Rest noch zu tragen, kam er auf eine unglückliche Idee, die ihm den Spott seiner Zeitgenossen überreichlich zugezogen hat. Ein kleiner Ballon sollte ihm den noch fehlenden Auftrieb verschaffen. Bei ganz unbewegter Luft gelang dann der Aufstieg in der Tat; aber sobald ein schwacher Wind wehte, wurde der Flieger trotz aller Anstrengung dorthin getragen, wohin nicht er, sondern der Wind wollte. Der Ballon bot dem Winde eine zu große Angriffsfläche, als daß der Flieger etwas hätte ausrichten können. So kam jener tragikomische Anblick zustande, der die höchste Spannung der Pariser in Enttäuschung und wütenden Hohn verwandelte, als der fremde Mechaniker ihnen seine Künste zeigen wollte.

Dennoch ist die Leistung Degens nicht gering zu achten. Er hatte die Lösung des Problems an dem falschen Ende angefangen. War es daher zu verwundern, wenn ihm mit seinem ersten Gerät nicht gelang, was den Vögeln mit ihren erprobten Flügeln nur mit höchster Anstrengung gelingt: der Flug vertikal aufwärts? Doch wer weiß, welche Entwicklung seine Idee genommen hätte, wenn er, anstatt den Entlastungsballon anzubringen, seinen Apparat für den Flug von der Stelle umgebaut hätte. Wahrscheinlich wäre ihm dann ein wenn auch kurzer freier Flug gelungen.

Trotz der Mißerfolge Degens tauchten in der Folgezeit weitere Projekte von Schwingenfliegern auf. Teils handelte es sich um kleine Modelle, die durch tordierte Gummischnüre angetrieben

wurden, teils auch um große, manntragende Apparate. Während mehrere der kleinen Modelle kürzere Flüge ausführten, gelang es in keinem Falle, mit einem der großen Schwingenflieger, selbst durch höchste Ausnutzung der Muskelkraft eines Menschen, einen so großen Auftrieb zu erreichen, daß sich das Fluggerät in der Schwebe hielt. Es blieb immer noch ein meist nicht kleiner Abtrieb übrig.

So war praktisch erwiesen, daß dem Menschen der freie Flug in ruhiger Luft wahrscheinlich für immer versagt bleiben würde. Der Mensch ist zu schwach, ein geeignetes Fluggerät in wirksame Bewegung zu setzen. Doch sprechen keine entscheidenden Momente dagegen, daß man mit den leichten leistungsfähigen Wärmekraftmaschinen einen bemannten Schwingenflieger zum Aufstieg zwingen könnte. Dennoch hört man nichts von derartigen Projekten. Und der Grund? Es wäre sehr unpraktisch, jetzt, da andere Wege betreten sind, von denen man weiß, daß sie zum Ziele führen, an einem Projekte weiter zu arbeiten, das zwar die Natur im Laufe der Jahrtausende gelöst hat, daß aber technische Schwierigkeiten auf Schritt und Tritt bietet und, wenn es gelöst wäre, doch nur den Trotzkopf befriedigen würde, der da meint, es der Natur gleichtun zu können. Ein Schwingenflieger erfordert eine feine Konstruktion in allen Einzelheiten und wäre auch dann noch, wie ich weiter unten beweisen werde, unökonomisch.

Die Wege der Natur sind nicht die Wege der Technik. Wir nämlich können kombinieren, die Natur kann es nicht; wir können, wenn wir auf dem einen Wege nicht ans Ende kommen, ganz von vorn anfangen; die Natur kann es nicht. Wir können uns das Material auswählen, wie wir es brauchen, die Natur hat ein für allemal bestimmte Baustoffe. So kommt es, daß die Natur oft durchaus nicht die einfachsten Mittel anwendet. Wenn sie dennoch so viel erreicht hat, so half ihr dabei die fast unendlich lange Zeit ihrer Entwicklung. Die Technik aber hat keine Zeit zu verschwenden.

Es war ein Fehler der Technik, die unpraktische Pendelbewegung der Flieger kopieren zu wollen. So wenig wir jetzt daran denken, eine Geh- oder Sprungmaschine zu bauen, um unseren Körper oder Lasten fortzubewegen, so wenig wird man später noch an den Bau von Schwingenfliegern denken. Denn die Technik hat die Pendelbewegung durch die Rotation zu ersetzen; darum ist der Schwingenflieger keine Zukunftsmaschine.

2. Die Gleitflieger.

Der Übergang von den Schwingenfliegern zu den Gleit- und Segelfliegern bedeutet einen Abstrich von dem Programm: Ist der Flug bei jedem Zustande der Luft uns schwachen Wesen versagt, so können wir vielleicht doch noch hoffen, die Kraft des Windes zu unserer Kraft hinzuzufügen, um wenigstens in bewegter Luft zu segeln.

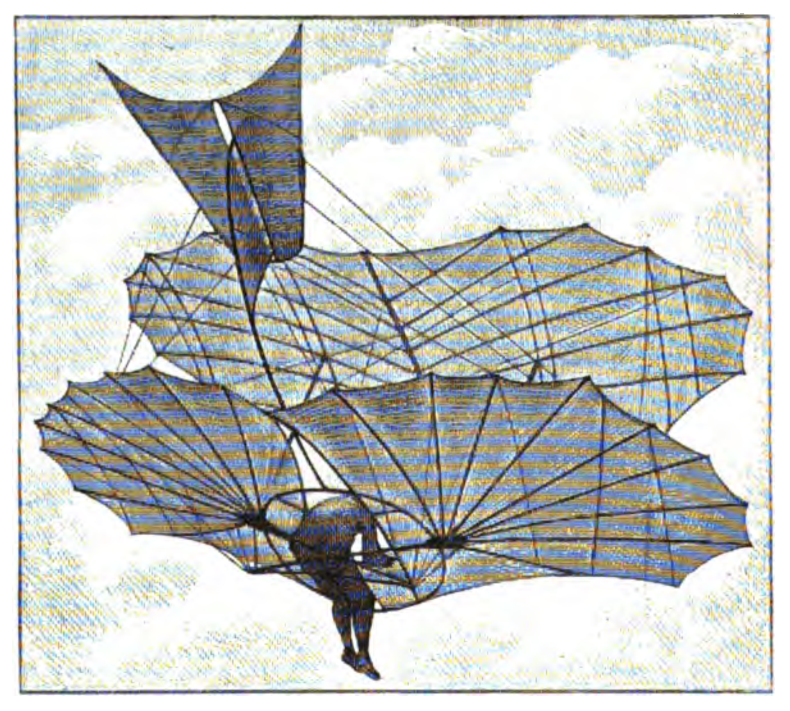
Noch bevor das Geheimnis des Segelfliegers durchschaut war, war das Streben der Flugtechniker darauf gerichtet, durch praktische Versuche den Flug der Segler nachzuahmen oder doch wenigstens Gleitflüge auszuführen. Die Geschichte des persönlichen Kunstfluges beginnt zwar eigentlich erst mit Otto Lilienthal. Doch war es schon vorher zwei Franzosen gelungen, Gleitflieger zu bauen, mit denen sie erfolgreiche Flugversuche ausführten. Le Bris hatte die Maße und Formen für Segelflieger von den großen segelnden Albatrossen entnommen, deren stolzen Segelflug er auf seinen Fahrten in den tropischen Meeren oft zu bewundern Gelegenheit gehabt hatte. Mouillard dagegen hielt den Bau des Gyps fulvus für das beste Modell eines Segelfliegers.

Mit Otto Lilienthal hingegen trat die Aviatik in ein neues Stadium ein. Er führte nicht nur mehr oder minder planmäßige Experimente über den Segelflug aus, sondern versuchte zunächst, den Vogelflug so weit als möglich zu verstehen, um genau zu wissen, warum er seine Gleitflieger so bauen mußte, wie es ihm das Modell des Vogels zeigte. Er stellte daher eine lange Reihe von Versuchen über den Luftwiderstand von ebenen und gewölbten Platten an und arbeitete ein Menschenalter lang mit bewundernswerter Ausdauer an den Grundlagen eines Problems, ehe er zu systematischen Gleitversuchen überging. Sein Ideal war der von ihm in begeisterten Schilderungen gepriesene Segelflug. Ihn wollte er verstehen und dann nachahmen.

Lilienthal vertrat über das Segeln eine andere Auffassung als wir sie soeben darlegten. In seinem Buche „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“ spricht er dem Kreisen die Bedeutung für die Ausnutzung der Energie des Windes völlig ab: Ein Segelflug sei auch in gerader Bahn möglich; ja es gäbe Vögel, die sogar im Winde stehen könnten. Er habe Falken gesehen, die Minuten lang wie Drachen ohne Schnur im Winde geschwebt hätten. Zwar scheine das Kreisen das Segeln zu erleichtern; eine notwendige Bedingung dafür aber sei es nicht.

Indes scheint Lilienthal später diese Auffassung geändert zu haben. Glaubte er doch, daß einer der wichtigsten Schritte auf dem Wege zur Lösung des Problems des Segelns dann getan sei, wenn es gelungen sei, einen vollen Kreisflug auszuführen.

Lilienthal hatte berechnet, daß ein Mensch die zum Flatterfluge nötige Arbeit nicht aufbringen könne. Er fand dafür eine Arbeitsleistung von etwa 1½ Pferdekräften, also soviel, wie



Lilienthals Gleitdoppeldecker im Fluge.
(Nach dem Originalmodell im Münchener Deutschen Museum.)

ein kräftiger Erwachsener bei höchster Anstrengung nur wenige Sekunden lang leisten kann. Er ging daher darauf aus, dem Menschen den mühelosen Segelflug zu erschließen, wobei die ganze Kraftausgabe nur zum Einstellen der Tragflächen gebraucht wird.

Am Schluß seines Buches stellte er hierfür folgende Leitsätze auf: „Bei Wind von mittlerer Stärke genügt die physische Kraft

eines Menschen, um einen geeigneten Flugapparat wirkungsvoll in Bewegung zu setzen. Bei Wind von über 10 Meter Geschwindigkeit ist der anstrengungslose Segelflug mittels geeigneter Tragflächen von Menschen ausführbar."

Erst nachdem Lilienthal diese Ergebnisse aus seinen Versuchen abgeleitet hatte, ging er im Jahre 1893 zu planmäßigen Gleitflügen über. Zuerst experimentierte er mit einem einfachen Gleitflieger, dessen zusammenlegbare Flächen ungefähr die Gestalt von Fledermausflügeln hatten und durch Weidenruten versteift waren. Wie wohl alle Gleitflugtechniker nach ihm begann auch er zunächst mit kleinen Luftsprüngen von einem etwa meterhohen Sprungbrett. Besonders das Landen übte er auf diese Weise ein. Dann ging er allmählich zu kühneren Flügen über. Er ließ sich bei Lichterfelde einen 15 m hohen Hügel aufwerfen und unternahm von hier aus die Gleitflüge. Bald baute er einen neuen Apparat mit zwei übereinander angeordneten Tragflächen von je $5^1/_2$ m Spannweite und 9 qm Flächeninhalt. Beide Flächen waren durch einen größeren Zwischenraum getrennt. Wollte er mit dem Apparate landen, so verlegte er den Schwerpunkt des Körpers nach hinten und zwang dadurch die Fläche, sich vorn aufzurichten. Dadurch wurde der Luftdruck vergrößert und die Geschwindigkeit herabgesetzt. Zum Schluß streckte er dann wie beim Sprunge die Beine schnell nach vorn und erzwang so durch Rückstoß ein weiteres Aufrichten der Tragflächen.

Mit dem Gedanken, diesen Apparat zu bauen, war Lilienthal bereits von dem Wege abgegangen, den er in seinem Buche über den Vogelflug als den aussichtsreichsten bezeichnet hatte: der Kopie des Vogelfluges.

Wir sehen in der Natur in keinem Falle einen Zweidecker. Wenn die Natur überhaupt zwei Paare von Tragflächen ausbildet, so werden diese hintereinander angeordnet, und auch dann verbessert die Natur, wie wir sahen, diesen Fehler dadurch, daß sie die Tragflächen verbindet, so gut es geht.

Aber ist damit gesagt, daß ein Zweidecker nicht technisch brauchbar wäre? Ist denn alles in so hohem Grade nützlich, was aus den Händen der blinden Natur hervorgeht, daß es kein Sehender besser machen könnte? — So urteilt nur der, der die Natur mit ihren Leiden und Kämpfen nicht kennt. Armut kennzeichnet die Gaben der Natur, nicht Üppigkeit und Verschwendung!

Noch ein Vorwurf, den man den Doppeldeckern macht, ist hier zurückzuweisen: Wie unschön ist solch ein großer eckiger,

fliegender Kasten! Aber warum ist er denn so unschön? Weil wir noch nicht an seinen Anblick gewöhnt sind, weil die Natur, die uns unsere Vorstellungen des Schönen und Häßlichen aufdrängt, nicht auf den Gedanken gekommen ist, zwei Paare von Gliedmaßen oder Körperanhängen für die Anbringung von Flugflächen freizumachen.

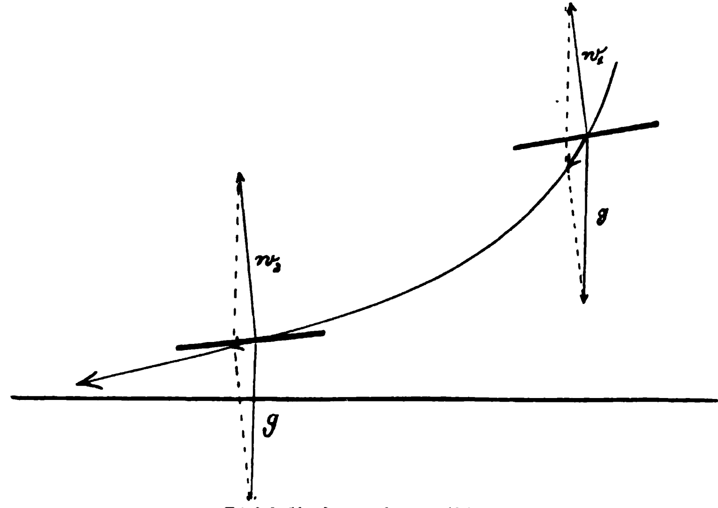
Zudem, wer sagt uns, ob wirklich die Tragflächen der großen Segler für diese ihre Aufgabe so gut eingerichtet sind, wie es möglich wäre? Sind sie doch offenbar zu diesem Zwecke von Anfang an nicht bestimmt, sondern erst durch wiederholte Reparaturen — die wir Anpassungen nennen — brauchbar gemacht worden!

Trotz dieser Abweichung von dem Wege der Natur konnte Lilienthal zum Lenken des Apparates zum Teil ganz ähnliche Maßregeln ergreifen, wie er es bei den Vögeln sah. Das gilt besonders für das Landen.

Die Seitensteuerung erreichte er durch Bewegen der Beine. Wenn ein Windstoß die eine Seite aufkippte, so mußte er das Körpergewicht nach dieser Seite hin legen, um sie wieder herunterzudrücken. Über die Gründe dieser Verschiebung herrschen selbst unter den gefeierten Aviatikern zum Teil ganz unhaltbare Vorstellungen. Dieses Verlegen des Schwerpunktes wird vom Hauptmann a. D. A. Hildebrandt mit dem entsprechenden Manöver eines Radfahrers in der Kurve verglichen und es wird betont, daß es der Gleitflieger genau entgegengesetzt machen muß wie der Radfahrer. — Allerdings! denn beide wollen gerade das Entgegengesetzte erreichen. Der Gleitflieger, dem der Apparat vom Winde verstellt wird, will ja gar keine Kurve machen, er braucht daher auch nicht den nach außen gerichteten Trägheitswiderstand aufzuheben, indem er das Körpergewicht etwas nach innen verlegt. Vielmehr ist ja das Gewicht des Apparates schon durch den Wind aus seiner Lage gedrängt. Da wäre es allerdings sinnlos, diese schädliche Wirkung des Windes noch zu verstärken, indem man das Körpergewicht auch noch nach der Seite verschiebt, wohin es nicht gehört. Wollten beide, der Gleitflieger und Radfahrer, dasselbe erreichen — eine Kurve beschreiben — so müßten sie ganz genau dieselbe Bewegung ausführen. Das sagen uns auch die Vögel, die ihren Körper in einer Kurve in eine meist noch viel schrägere Lage bringen als die Radfahrer.

Nein, ganz und gar umzulernen brauchen wir nicht, wenn wir die Bewegungen in der Luft studieren wollen!

Bei den Lilienthalschen Versuchen mit seinen Gleitfliegern zeigte sich dasselbe, was man bei jedem Gleitflieger beobachten kann: Die Gleitbahn führt zuerst schnell abwärts und nähert sich allmählich einer Geraden, die mit dem Horizonte einen bestimmten Winkel bildet, den Gleitwinkel. Diese Bahnkurve ist die notwendige Folge davon, daß auf den Gleitflieger zwei Kräfte einwirken, deren eine — nämlich die Erdanziehung — immer



Gleitfall einer ebenen Platte.

Auf die schräg fallende Platte wirkt senkrecht nach unten die Erdanziehung g, senkrecht zur Platte nach oben, also in Wirklichkeit nach oben und vorn der Druck des Luftwiderstandes w. Dieser ist zu Beginn des Falles geringer, da dann die Geschwindigkeit noch gering ist. Da g unveränderlich ist, so verringert jede Vergrößerung von w den Neigungswinkel der Bahn gegen den Horizont. Der Gleitwinkel nimmt also zu Beginn der Bahn schnell ab.

gleich ist, während die andere — der Luftwiderstand — anfangs um so mehr zunimmt, je länger der Gleitfall andauert, je größer also die Geschwindigkeit der Bewegung geworden ist. Anfangs ist diese klein, der Luftwiderstand daher auch. Da der Luftdruck nun senkrecht zu dem schräg gestellten Gleitflieger wirkt, so ergibt sich zunächst eine steil absteigende Bahn; allmählich aber wird wie beim freien Fall die Geschwindigkeit und damit auch der Luftwiderstand größer. Die Bahn nähert sich also der Horizontalen.

Mit seinem Gleitflieger erzielte Lilienthal schon recht befriedigende Ergebnisse. Es gelang ihm sogar, wenn er bei großer

Windgeschwindigkeit von der Spitze seines Lilienthalhügels abgesegelte, im Fluge größere Höhen zu erreichen als die Spitze seines Berges betrug. Es schien also, als habe er damit die Richtigkeit seiner Auffassung über das Segeln bewiesen, nämlich daß das Kreisen zum Segeln nicht nötig sei. Aber wenn dieser Anstieg nicht von Zufälligkeiten abhängig gewesen wäre — vermutlich von aufsteigenden Luftströmen —, so hätte es Lilienthal auch gelingen müssen, einen andauernden Segelflug auszuführen. Das aber trat nicht ein. Seine längsten Gleitflüge erreichen eine Länge von 250 Metern. Jene Anstiege vollzogen



Lilienthals Gleitschwingenflieger.

sich meist in der Nähe seines Hügels, dort, wo der Abhang die gegen den Hügel anströmende Luft zwang, nach oben auszuweichen. Er segelte also in Wirklichkeit nicht in einem horizontal wehenden Winde, sondern in einem ziemlich stark aufsteigenden Luftstrom. Hier aber ist ein Schweben, ja sogar ein Stehen in der Luft offenbar leicht möglich. Braucht doch dazu nur der schräg nach unten gerichteten Kraft, die den Gleitflug unterhält, eine andere schräg nach oben unter einem nicht zu großen Winkel wirkende Kraft entgegengestellt zu werden, die die abwärts gerichtete Teilkraft des Gleitfluges mindestens aufhebt. Diese Kraft aber kann von dem Winde geliefert werden, wenn er von unten

gegen den Segler bläst. Da ihm so der Segelflug nicht gelingen wollte, ging Lilienthal zu einer anderen Type über: Er brachte, um die Tragkraft der Flächen zu unterstützen, an seinem Flieger Schwingenspitzen an, die durch einen Kohlensäuremotor getrieben wurden. Der Ausführung der Schwingen lagen genau dieselben Prinzipien zugrunde, die wir bei dem Fluge der Flatterflieger beschrieben haben. Der Apparat zeigte eine Spannweite von 8 m und wog 40 kg.

Über die Eindrücke, die Lilienthal bei seinen Gleitflügen bekam, schreibt er im „Prometheus“: „Die Tiefe, über welche man dahinschwebt, verliert ihre Schrecken, wenn man aus Erfahrung weiß, wie sicher man sich auf die Tragfähigkeit der Luft verlassen kann. Die ganz allmähliche Steigerung dieser luftigen Sprünge führt zu einer Gewöhnung an den Blick aus der Höhe auf die untenliegende Landschaft. Das unbehagliche Gefühl, welches den Kletterer beschleicht, welcher auf schmalem Gletschergrat seinen Fuß in schlüpfrige Eisstufen setzt oder hoch über dem gähnenden Abgrund sich auf das tragende Geröll verlassen muß, wird häufig den Genuß der prächtigen Aussicht schmälern; denn man weiß sich von Zufällen umlauert, deren jeder das Entsetzliche herbeiführen kann. Diese, das Gefühl des Schwindels erzeugende Beklemmung hat nichts gemein mit den Empfindungen des auf die Luft allein sich stützenden Fliegers. Hier zeigt sich die Luft selbst als tragendes Prinzip, indem sie uns nicht nur vom Abgrund trennt, sondern uns auch über demselben schwebend erhält. Wenn man auf breiten Fittichen ruhend, von nichts als von der Luft berührt, durch nichts als durch den Wind dahingleitet, der, auch dem leisesten Drucke gehorchend, unserem Willen sich fügt, so läßt das Gefühl der Sicherheit die Gefahr sehr bald vergessen. . . Aber eine solche schwungvolle Bewegung belohnt auch die zur Erlangung der Fertigkeit aufgewendete Mühe, wie es denn überhaupt ein unbeschreibliches Vergnügen ist, hoch in den Lüften über den sonnigen Bergabhängen sich zu wiegen ohne Stoß, ohne Geräusch, nur von einer leisen Äolsharfenmusik begleitet, welche der Luftzug den Spanndrähten des Apparates entlockt.“

Dennoch fiel er seiner stolzen Kunst zum Opfer. Was die Ursache seines Todes war, weiß niemand; war es ein Windstoß, der den Apparat umwarf? War es ein Zerbrechen des Apparates? —

Der jähe Tod dieses kühnen und energischen Vorwärtsdenkers wirkte auf die flugtechnischen Bestrebungen dieser Zeit lähmend

— anders als heute, wo der Tod von sechs Aviatikern innerhalb eines Jahres den Siegeslauf des Drachenfliegers nicht merklich aufhalten kann.

Dennoch war Lilienthals Lebensarbeit nicht vergebens. Warum er Schule machte? — Er war nicht Aviatiker, er war Flugforscher; er legte seine Gedanken über den Kraftflug außer in seinem Hauptwerke in vielen Zeitschriftenartikeln nieder, so daß sie nicht verloren gehen konnten.

So kam es, daß sich in allen Kulturländern Flugtechniker mit dem Studium seiner Schriften beschäftigten und sich stolz seine Schüler nannten. In England experimentierte Pilcher mit einem dem Lilienthalschen sehr ähnlichen Gleitflieger. Nach manchen guten Erfolgen ereilte auch ihn das Geschick seines Meisters: Der Apparat brach in der Luft, sein Führer stürzte mit ihm ab und verletzte sich tödlich.

In Amerika arbeiteten Chanute und Herring zuletzt gemeinsam an demselben Problem und kamen der Lösung schon ein Stück näher als ihr Vorgänger.

Herring wurde auf eine wichtige Veränderung des Druckmittelpunktes an der Gleitfliegerfläche aufmerksam, die Lilienthal entgangen war und den Wert seiner Messungen des Luftwiderstandes herabsetzt. Wenn man nämlich den gesamten Luftdruck, dem die Fläche ausgesetzt ist, durch eine Druckkraft ersetzen will, die an einem Punkte angreift, so darf man diese im allgemeinen nicht in dem geometrischen Flächenmittelpunkte angreifen lassen. Vielmehr weicht der Druckmittelpunkt von dem geometrischen Mittelpunkt ab, und diese Abweichung ändert sich mit dem Neigungswinkel, mit der Flächenform und der Geschwindigkeit.

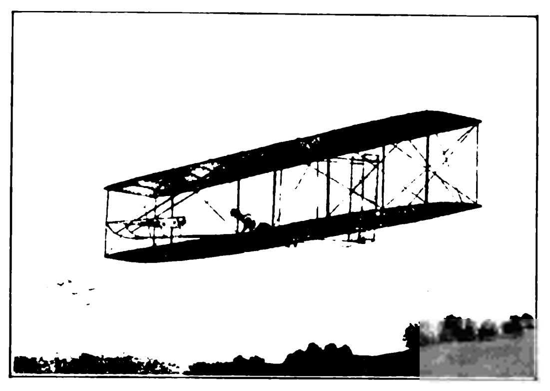
Chanute legte besonderes Gewicht auf die Konstruktion eines Apparates, der automatisch stabil wäre, d. h. ähnlich wie die Samen der Zanonia und Bignonia von selbst in die Gleichgewichtslage zurückkehren sollte, wenn er daraus entfernt würde.

Pilcher hatte auch den Gedanken gehabt, einen Motor in seinen Apparat einzubauen. Doch ehe er dazu kam, seinen Apparat zu versuchen, verunglückte er.

Nun waren der Forschung auf diesem Gebiete bereits die Wege vorgezeichnet. Das Ziel hieß jetzt: Ein automatisch stabiler Motordrachenflieger.

Auf dieser Basis bauten vom Jahre 1900 ab die beiden Brüder Orville und Wilbur Wright weiter, die Söhne des Bischofs Milton Wright zu Dayton im Staate Ohio. Ähnlich wie Lilien-

thal begannen sie nicht aufs Geratewohl mit Gleitversuchen, wie heut so viele, die in der Aviatik nur ein Gebiet für sportliche Betätigung sehen, sondern sie studierten zunächst die vorhandene Literatur. Die Gleitflieger, mit denen sie dann einige tausend Flüge ausführten, wurden von Jahr zu Jahr größer gebaut. Da sich jedoch eine große Tragfläche schlecht befestigen läßt, verteilten sie, ähnlich wie vor ihnen Lilienthal und Chanute, die gesamte Oberfläche auf zwei Flächen, die in einem gegenseitigen Abstande etwa von Manneshöhe befestigt wurden. Auf den äußeren Umriß der Fläche legten sie wenig Wert: Sie wählten die Form eines Rechteckes. Bei ihrem Gleitflieger vom



Gleitflieger der Brüder Wright.

Jahre 1901 waren diese Flächen $6^1/_2$ m lang und 2 m breit. Bei dem nächsten Modell vom Jahre 1902 wurden die Tragflächen schlanker gebaut, und es zeigte sich, daß trotz der dadurch herbeigeführten Vermehrung des Stirnwiderstandes die Gleitwinkel günstiger waren. Zwar hatte dieser Apparat auch eine größere Oberfläche, doch dürfte einer der Hauptvorzüge die erhöhte Streckung der Tragfläche sein. Hat doch auch die Natur den guten Seglern lange und schmale Flügel gegeben. Dieses Verhältnis der Streckung haben die Gebrüder Wright im allgemeinen bei ihren erfolgreichen Drachenfliegern beibehalten. Während die Länge (in der Flugrichtung gemessen) der ersten Flieger etwa 32% der Breite der Fläche betrug, wurde sie bei den erfolgreicheren Gleitfliegern auf 14% herabgesetzt; bei den heute im Gebrauch befindlichen Drachenfliegern hat sie fast denselben Wert (2: 12 m). Die Wölbung der Flächen wurde ziemlich gering

gewählt. Lilienthal fand als günstigstes Verhältnis der Höhe zur Breite 1:12, doch war es dann schon zu schwer, den Apparat zu steuern. Er wandte daher eine Wölbung von 1:15 oder 1:18 an. Die Wrights gingen auf einen noch kleineren Wert als Lilienthal herunter, nämlich auf das Verhältnis 1:19 und vergrößerten dafür das Areal der Tragflächen. So große Flächen aber lassen sich im allgemeinen schwer beherrschen. Eine Verschiebung des Körpergewichts hätte nur bei kleineren Störungen genügt. Diese Änderung mußte daher noch andere nach sich ziehen: Es sind die beiden Verbesserungen, denen die Wrightschen Gleit- und Drachenflieger ihre Siege wohl in erster Linie zu danken haben, das Höhensteuer und die Verwindung der Tragflächen.

Um Schwankungen in der Höhenlage abzuschwächen und gelegentlich die Energie der erlangten Sinkgeschwindigkeit zu kurzem Anstieg zu benutzen, wurde vor den Tragflächen ein über 1 qm großes Horizontalsteuer gesetzt, das durch Schnüre betätigt wurde, die der Führer immer in den Händen hielt. Der Flieger lag bei allen diesen Versuchen auf der unteren Tragfläche im Liegestütz, das Gesicht nach vorn gewendet. So war ein weiterer Vorteil erreicht: Der Stirnwiderstand des Gleitfliegers war sehr herabgemindert, infolgedessen war der Rücktrieb geringer und die Gleitwinkel günstiger. Es ließen sich große Geschwindigkeiten erzielen und selbst bei starkem Winde vollzog sich die Landung ohne Schaden.

Dadurch wurde zugleich der Schwerpunkt erheblich höher gerückt, und man könnte meinen, daß dann das Gleichgewicht schwer zu erhalten wäre. Der Druckmittelpunkt liegt nämlich bei einem solchen Doppeldecker ungefähr mitten zwischen beiden Flächen, da ja beide fast gleich viel Auftrieb liefern. Der Schwerpunkt des ganzen Apparates aber liegt jetzt erheblich höher als wenn der Führer unten an den Tragflächen hängt. Der ganze Apparat erscheint also schwächer unterlastig als die Lilienthalschen Gleitflieger und die seiner Schüler Herring, Chanute und Pilcher.

Aber das ist, wie die Erfahrung gezeigt hat, kein Nachteil. Es ist nicht vorteilhaft, die Stabilität in der Flugrichtung durch möglichst große Verlegung des Gewichts nach unten zu erzielen. Zwar muß der Schwerpunkt immer unter dem Druckmittelpunkt liegen, da sich sonst der Apparat zu leicht überschlagen würde. Doch darf er nicht zu tief gelegt werden.

Über die Gründe dafür sind sich die Flugtechniker wieder nicht einig. Nimführ vergleicht, um diese Schwerpunktsfrage

verständlich zu machen, den Flieger mit einem Pendel. Wie dieses an einer Schnur an dem Aufhängungspunkt oder Drehpunkt, so hängt der Gleit- oder Drachenflieger in der Luft und führt um den Druckmittelpunkt Schwingungen aus, wenn er aus der Gleichgewichtslage herausgebracht wird. Wie nun ein kurzes Pendel — bei dem also Schwerpunkt und Aufhängungspunkt nahe beieinander liegen — raschere Schwingungen um seine Gleichgewichtslage ausführt, wenn es einmal daraus entfernt worden ist, so — meint Nimführ — wird auch ein wenig unterlastiger Gleitflieger schnelle Schwingungen ausführen und bald wieder automatisch in der Gleichgewichtslage zurückkehren. Daraus folgert er dann: „Liegt der Schwerpunkt tief unter dem Reaktionspunkt (den wir Druckmittelpunkt nannten), so werden bei Störungen des longitudinalen Gleichgewichts (des Gleichgewichts in der Längsrichtung) Schwingungen in der Longitidinalebene um die Transversalachse (Querachse) eintreten. Je geringer die Distanz des Schwerpunktes vom dynamischen Stützpunkte, d. i. dem Reaktionspunkt, ist, um so rascher werden die Schwingungen erfolgen, um so geschwinder aber auch werden sie gedämpft. Es ist deshalb ein Trugschluß, wenn man meint, die Stabilität durch möglichste Tieflegung des Schwerpunktes zu erzielen. Da es wünschenswert ist, daß Störungen durch äußere Kräfte so rasch als möglich gedämpft werden, muß im Gegensatze zur vulgären Ansicht der Schwerpunkt möglichst nahe dem Reaktionspunkt liegen."

Diese ganze Schlußkette ist nicht haltbar, da sich ein Gleit- oder Drachenflieger nicht mit einem mathematischen Pendel vergleichen läßt, d. h. mit einem Apparate, bestehend aus einem Massenpunkte, der an einem massenlosen Faden hängt und um seinen Stützpunkt Schwingungen ausführen kann. Allerdings liegt eine gewisse Ähnlichkeit mit einem Pendel vor, aber mit einem wirklichen, einem physischen Pendel, nicht mit einem Apparat, wie ihn sich der Mathematiker ausgedacht hat, um seine Rechnungen leichter durchführen zu können. Wir können einen Gleitflieger viel eher mit dem Balken einer Wage vergleichen. Hier sind die Massen ganz ähnlich angeordnet, Schwerpunkt und Unterstützungspunkt sind nicht an die beiden Enden gerückt. Eine Wage aber vollführt ihre Schwingungen bekanntlich um so schneller, je größer der Schwerpunktsabstand von der Schneide ist, an der der Wagebalken hängt. Es ist also hier gerade umgekehrt wie beim mathematischen Pendel. Daraus folgt dann für den Gleitflieger: Ein schwach unterlasteter Flieger pendelt

langsam um seine Gleichgewichtslage, ein stark unterlastiger schneller. Ein Flugapparat wird also, wenn er führerlos ist, nach Eintritt einer Störung um so schneller in die Gleichgewichtslage zurückkehren, je mehr er unterlastig ist. Durch Tieflegung des Schwerpunktes ist also automatische Stabilität wohl zu erreichen. Aber es ist nicht praktisch, die Stabilität so zu erreichen, weil ja der Führer dazu da ist, um Schwankungen auszugleichen und diese beim stark unterlastigen Apparate häufiger auftreten und weniger leicht ausgeglichen werden können als beim schwach unterlastigen Gleitflieger. Ein stark unterlastiger Flieger ist also wohl automatisch stabil, aber schwer zu beherrschen. Zudem muß ein unterlastiger Flieger wirklich leichter aus der Gleichgewichtslage kommen, als ein weniger stark unterlastiger. Denn wenn die Hauptmasse unten angebracht ist, so greifen die Winde an den nicht beschwerten Flächen an und können diese aus der Gleichgewichtslage entfernen, ohne die unten angebrachte Masse erheblich zu verschieben. Die erstmaligen Verschiebungen aus der Gleichgewichtslage sind nämlich hier keineswegs Schwingungen um den Druckmittelpunkt, sondern um den Trägheitsmittelpunkt oder Schwerpunkt. Beim schwächer unterlastigen Apparat dagegen ist die Masse mit den Flächen fester verbunden und wird also auch selbst stärker bewegt werden müssen, wenn der Apparat dem störenden Einflusse nachgeben soll.

Es ergibt sich also:

Ein stark unterlastiger Flugapparat kommt leichter aus der Gleichgewichtslage, kehrt jedoch leichter von selbst in diese zurück. Er ist also automatisch stabil, aber schwer zu steuern. Ein schwach unterlastiger Apparat kommt schwerer aus der Gleichgewichtslage, kehrt langsamer von selbst in diese zurück, kann daher leichter umkippen, ist also weniger automatisch stabil, aber leichter zu steuern.

So sind auch die so unsicher aussehenden Wrightschen Doppeldecker mit geringerer Kraft zu beherrschen und bieten, so lange der Apparat nicht zerbricht, den Insassen hinreichende Sicherheit.

Die seitliche Steuerung wird hier durch ein eigenartiges sinnreiches Verfahren erreicht, durch die sogenannte Verwindung der Tragflächenenden, eine Einrichtung, die gegenwärtig von vielen Flugtechnikern nacherfunden wird.

Die Tragflächenenden sind nämlich nicht starr, sondern können mehr oder minder gekrümmt werden. Wird nun z. B. auf einer Seite die Krümmung des Flächenendes vermehrt, so wird hier ein größerer Teil der Fläche senkrecht zur Flugrichtung gestellt

als gewöhnlich. Es wird also der Luftwiderstand hier vermehrt, so daß diese Seite im Fluge zurückbleibt. Der Apparat dreht sich also seitlich nach der Richtung hin, wo man die Ecke aufdreht. In Wirklichkeit werden beide Paare der Tragflächenenden nach verschiedenen Richtungen verwunden.

Man kann sich diese Verhältnisse leicht veranschaulichen, wenn man einen Pfeil, wie ihn sich unsere Jugend aus Papier faltet, hinten mit zwei kleinen Schwänzen versieht, die man nach Belieben bald mehr, bald weniger von dem Pfeilkörper abstehen läßt. Die Bewegung wird dann in genau entsprechender Weise dadurch bestimmt.

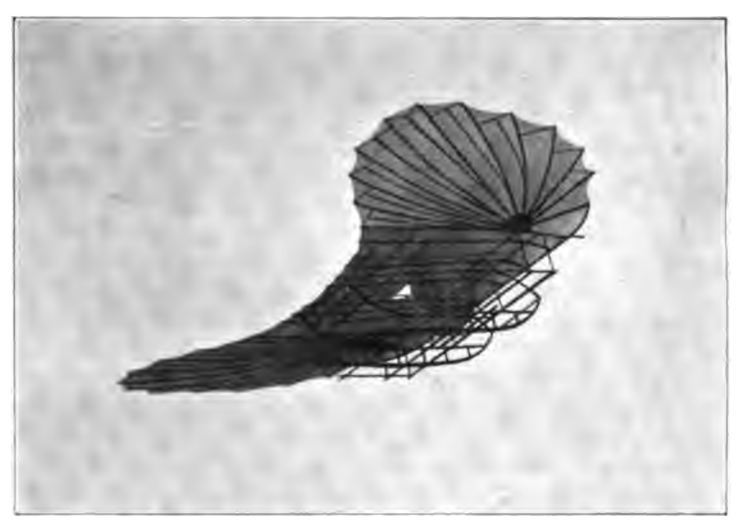
Mit ihren Gleitfliegern führten die Brüder Wright ihre Flüge derart aus, daß sie sich meist von einer sandigen Anhöhe aus gewissermaßen abwerfen ließen, um die nötige Schwebegeschwindigkeit zu bekommen. Zwei Männer hielten den Gleitflugapparat zunächst wagerecht und erteilten ihm dann die horizontale Geschwindigkeit von 5 Metern in der Sekunde. Da es nicht leicht ist, mit dem rund 53 kg schweren Apparate einen solchen Anlauf zu nehmen, so wurden die Gleitflüge meist bei Windgeschwindigkeiten von mindestens 3 m ausgeführt. Der Flieger segelte dann in jeder Sekunde 7 bis 8 m unter Gleitwinkeln von $6^1/_2$ bis 7°. Der günstigste Gleitwinkel betrug 5°. Als jedoch die Versuche noch mit den ersten Apparaten ausgeführt wurden, waren die Winkel erheblich größer und betrugen im Durchschnitt 9—10°.

In Frankreich entstand dem Flugsport in dem Kapitän Ferber ein Förderer und Vorkämpfer, der zwar mehr mit der Feder als durch originelle Konstruktionen der Sache diente. Er baute nacheinander sechs Gleitfliegermodelle, mit denen aber im allgemeinen nur wenig erfolgreiche Flüge ausgeführt wurden. Ihre Konstruktion lehnte sich teils an die Lilienthalschen teils an die Wrightschen Flieger an.

In Österreich hingegen wurde ein ganz eigenartiges Projekt eines Gleitfliegers verwirklicht. Die schönen Gleitflüge der Zanonia-Samen lockten Franz Wels, ihre Form der Konstruktion großer Gleitflieger zugrunde zu legen. Zuerst baute er eine 6 m klafternde Fläche, belastete sie mit Sandsäcken und ließ sie fliegen: Sie erwies sich als ebenso stabil wie ihr Vorbild. Dann wurde eine große manntragende Fläche erprobt, die eine Länge von 10 m und eine Breite von 3,6—5 m mit einem Areal von 38 qm besaß und mit dem Führer das stattliche Gewicht von 227 kg trug. Trotz dieser großen Belastung, die verhältnismäßig

weit höher ist als etwa die der Wrightschen Gleitflieger, betrug der Gleitwinkel nur ganz wenig mehr: etwa 7—8° (dort 5—8°). Und diese Resultate wurden mit einer Fläche erzielt, die anscheinend zum Tragen recht wenig geeignet erscheint, bei der man nämlich, um eine automatische Stabilität zu erzielen, große Teile der Fläche nach oben gekrümmt hat!

In den Hauptzügen stimmt die Welssche Fläche mit der Fläche der Zanonia Samen überein, besonders was die Merkmale anbetrifft, durch die die Stabilität erzeugt wird. Auch sie hat



Gleitflieger von Wels.

zwei seitliche nach oben gebogene, wie Pénaud-Steuer wirkende Enden, die sogenannten Hörner. Doch ist eine Eigenschaft der Zanonia-Samen viel mehr ausgeprägt: Während nämlich die Samen, in der Flugrichtung durchschnitten, im allgemeinen nach unten durchgebogen sind und nur am äußersten Vorderrande von unten gesehen hohl erscheinen, nimmt die Welssche Fläche viel mehr den Charakter einer Tragfläche an: Hier ist ähnlich wie bei den Vogelflügeln die Hauptwölbung nach oben gerichtet, der Flügel also unten hohl, so daß der tragende Luftwiderstand vergrößert wird.

So ist es wohl zu erklären, daß der Welssche Gleitflieger einen so guten Erfolg erzielte: Die Technik hat die Natur nicht

kopiert, sondern verbessert. Vor allem ist es ihr leicht möglich, einen Übelstand, den die Natur so schwer vermeiden kann, zu umgehen; während nämlich die Hörner und überhaupt die ganze Fläche bei den Samen fast nie streng symmetrisch sind, ist Symmetrie hier leicht zu erreichen. Der Gleitflieger muß daher nicht nur geradeaus fliegen, sondern er wird auch automatisch im Kurs erhalten. Die beiden Hörner nämlich sind sowohl von vorn nach hinten, als auch gegeneinander geneigt; sie haben also ein Gefälle von hinten und außen nach vorn und innen. Wenn sie nun durch die Luft gleiten, zwingen sie diese, auszuweichen und rufen so einen Gegendruck hervor, der den hinteren Teil nach unten und außen drückt und also einmal der drehenden Wirkung des vorn liegenden Gewichtes entgegenwirkt, sodann aber auch dem Flieger einen bestimmten Kurs aufzwingt.

Außerdem wurden noch zahlreiche weniger originelle Gleitflieger erprobt. Gegenwärtig aber hat der Gleitflug fast nur noch sportliches Interesse; und hier mag ihm noch eine gewisse Zukunft bevorstehen. Denn noch kein Gleitflieger ist zum Segelflieger geworden. Noch nie ist es einem Menschen gelungen, mit einem solchen Flugzeug die Windenergie auszunutzen und im Kreisfluge oder unter günstigen Umständen auch im geradlinigen Fluge sich dauernd in der Luft zu behaupten, ohne Motor, nur durch die Kraft des Windes und durch geschickte Steuerung.

Zweifellos wäre dieser Segelflugsport, namentlich für den Anfänger, ziemlich gefährlich — aber es ist ja ein Hauptreiz jeglicher sportlicher Betätigung, eben die sich bietenden Gefahren zu bestehen. Für die wirkliche Eroberung der Luft ist der Gleitflieger ein historisches Stadium, das auch, etwa entsprechend dem phylogenetischen Grundgesetz Haeckels, von jedem kurz rekapituliert werden muß, der einen Drachenflieger steuern will. Jeder derartige Apparat muß nämlich auch im Gleitflug niedergehen können. Dafür aber ist es nötig, zu wissen, wie er als Gleitflieger zu behandeln ist. Natürlich kann die dazu nötige Übung auch am Drachenflieger selbst erlangt werden.

Es gibt noch heute Flugtechniker, ja sogar Flugforscher, die in der Nachahmung des Segelfluges durch den Menschen ein Ideal der Flugtechnik sehen, z. B. Gustav Lilienthal. Warum ist dieser Stern ein Irrlicht? Weil das Ideal der Aviatik ein Flieger ist, der sich in jedem Zustande der Atmosphäre behaupten und möglichst schnell und sicher von der Stelle kommen kann. Das aber könnten wir nicht, wenn es uns auch gelänge, den

Segelflug auszuführen. Die Vögel können auch nicht, wie vielfach behauptet wird, bei jedem Zustande des Luftmeeres segeln. Vielmehr ist der Wind eine notwendige Ursache des Segelfluges. Darum wäre auch ein Segelflieger bei Windstille und bei schwachen Winden nicht brauchbar.

Der Weg der Aviatik führt am Probleme des Segelfluges vorbei.

3. Die Drachenflieger.

Die einfachste und darum gegenwärtig, wo wir noch am Anfang der Entwicklung der dynamischen Flugzeuge oder Kraftflieger stehen, brauchbarsten und erfolgreichsten Flieger sind die Drachenflieger.

Ein Segler, der mit schräg gestellten Flügeln die Energie seiner Bewegung ausnutzt und vorwärts fliegt, ist während dieser Zeit ein Drachenflieger. Bald aber läßt die Geschwindigkeit infolge des Luftwiderstandes nach, und der Flug erreicht ein Ende. Soll aus einem solchen Segelflieger ein Drachenflieger werden, so muß der Rücktrieb des Luftwiderstandes beständig durch einen Vortrieb aufgehoben werden.

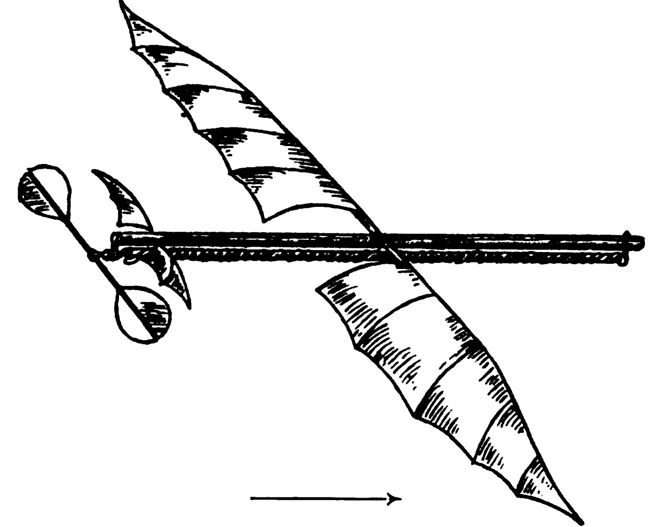
Ihren Namen aber haben die Drachenflieger von der großen Ähnlichkeit der Kraftwirkung an ihren Flächen und an denen der Drachen, wie sie unsere Jugend steigen läßt, und wie sie sich in neuerer Zeit im Dienste der Meteorologie bewährt haben.

Im allgemeinen steigen unsere Drachen nur im Winde. Wollen wir sie bei unbewegter Luft in die Höhe zwingen, so müssen wir, die Schnur in der Hand, mit ihnen laufen und sie hinter uns herziehen. So schaffen wir ihnen den entsprechenden Vortrieb, wie ihn der Motor den Drachenfliegern erteilt, indem er die vertikal gestellte Luftschraube antreibt.

Mit Drachenfliegerprojekten beschäftigte man sich schon seit dem Jahre 1842, wo der Engländer Hensen seine Ideen kundgab. Man baute meist kleine Modelle, die zum Teil recht gute Flüge ausführten; daneben aber erprobte man auch große Drachenflieger, die sich jedoch zunächst durchweg als nicht flugfähig erwiesen.

Das erste freifliegende Drachenfliegermodell, ein erstaunlich einfacher Apparat, stammt von dem Franzosen Alphonse Pénaud. Ein 50 cm langer Holzstab bildet das Gestell, daran ist etwa in der Mitte die Tragfläche befestigt. Ein 45 cm langes Stäbchen bildet den steifen Vorderrand der Fläche; von ihm gehen nach

hinten mehrere Querstäbchen aus, die nach der Spitze zu immer kürzer werden und der Tragfläche als Stützen dienen. Die Fläche zeigt also große Ähnlichkeit mit einem Paar Vogelflügeln. Am hinteren Ende des Stabes ist eine 20 cm im Durchmesser messende Luftschraube angebracht, die durch einen Gummimotor angetrieben wird. Die Achse der Schraube nämlich führt durch eine Öse und ist dann zu einem Haken gekrümmt, an dem das hintere Ende der Gummischnüre angeheftet ist. Am vorderen Ende des Stabes ist das andere Ende der Schnüre befestigt. Wird nun die Schraube bei dem ruhenden Modell gedreht, so drehen sich die Gummischnüre zusammen, und es wird in ihnen Energie aufgespeichert. Wenn man dann den kleinen Flieger losläßt,



Drachenfliegermodell von Alphonse Pénaud.
(Nach Nimführ.)

so drehen sich die Schnüre auf und treiben dadurch die Luftschraube an. Die Hauptneuerung aber dieses „Planophore“ bildet die automatische Stabilisierungsvorrichtung, das nach dem Entdecker genannte „Pénaudsteuer“. Unmittelbar vor der Schraube nämlich, also am hinteren Ende des Stabes, war eine zweite kleinere Fläche angebracht, die der vorderen durchaus ähnlich gebaut war; nur lag hier der Hinterrand ein wenig höher als der Vorderrand. Die Wirkung dieses Pénaudsteuers ist die

gleiche, wie die des beweglichen Hinterrandes der Bignonia-Samen: Es bedingt eine bestimmte Schrägstellung des Apparates und ein automatisches Zurückkehren in die Lage, wenn fremde Kräfte den Flieger daraus entfernen wollen. Da nämlich das Hauptgewicht vorn liegt, der Apparat also vorlastig ist, so wird der Vorderteil sich neigen. Dieser Kraft wirkt der Druck am hinteren Ende entgegen, der an dem abgedrehten Pénaudsteuer hervorgerufen wird, indem der Luftdruck von oben schräg darauf einwirkt und es herunterzudrücken sucht. So halten sich am Flieger beständig diese zwei Kräfte das Gleichgewicht.

Der kleine Apparat wog nur 16 g, und da davon 5 g auf die Gummischnüre entfielen, so ließ sich eine genügende Energiemenge aufspeichern. Als das Modell im August 1871 in Paris seinen ersten öffentlichen Flug ausführte, flog es in 11 Sekunden etwa 40 m weit. Die Gummischnüre waren dazu 240mal gedreht worden.

Von all den folgenden Drachenfliegermodellen gehe ich nur auf eins ein: Auf den „Ärodrom" Langleys, dessen berühmter Flug am 6. Mai 1896 einen weiteren wichtigen Schritt nach vorwärts darstellt.

Langleys hatte schon als Physiker und Astronom einen Namen, als er sich im Jahre 1886 der Flugforschung zuwandte und zunächst umfangreiche Untersuchungen über den Luftwiderstand anstellte. Von seinen Ergebnissen dabei ist seine Bestätigung des sogenannten Avanzinischen Gesetzes der Hydro-Dynamik über die Verschiebung des Druckmittelpunktes für die Verhältnisse der Bewegung in der Luft von besonderer Bedeutung.

Erst nach dem Abschluß dieser Studien ging Langleys daran, Modelle von Drachenfliegern zu bauen. Nach vielen vergeblichen Versuchen gelang es endlich, die Modelle 5 und 6 zu längeren freien Flügen zu bringen. Der Ärodrom Nr. 5 wog einschließlich aller Zubehörteile rund 11 kg, der nächste Nr. 6 noch mehr, 13,6 kg. Diese Zahlen sagen uns, daß wir hier schon dem Ziele, ein größeres Gewicht in die Luft zu zwingen, recht nahe gekommen sind. Ist doch die Größenordnung der Gewichte eines Menschen und des Langleyschen Fliegers ungefähr dieselbe. Zwei Paar rechteckige, in der Flugrichtung schwach gewölbte Tragflächen von einer Spannweite von 4,3 m und einer Breite von 0,6 m liefern bei dem Ärodrom Nr. 6 den Luftwiderstand. Der Apparat ist $4^1/_2$ m lang, das Gerüst wird von einem Stahlrohr gebildet, das die Tragflächen, den Motor und einen Schwimmer trägt. Zwei Luftschrauben von 1,2 m Durchmesser sind zwischen

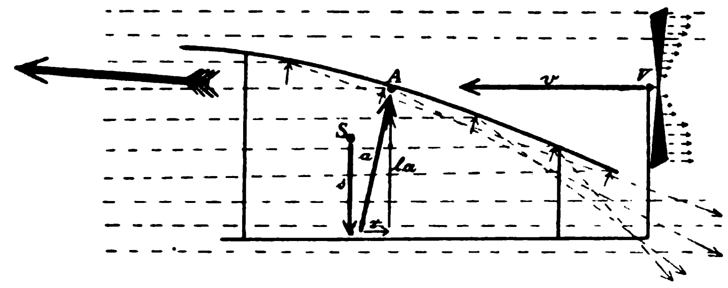
den beiden Tragflächenpaaren angebracht und werden durch einen Dampfmotor angetrieben, der bei einem Gewicht von nur 3 kg 1—1 1/2 Pferdekraft leistet und imstande ist, die Luftschraube in der Minute bis 1200mal zu drehen. Die Tragflächen sind nicht horizontal gestellt, sondern neigen sich von außen und oben nach innen und unten gegeneinander unter einem Winkel von 135°. Sie bilden also ein flaches V. An der Rückseite sind zwei senkrecht zueinander gestellte Flächen angebracht, die zur Stabilisierung dienen.

Sollte der Apparat abfliegen, so wurde ihm auf seinem Ruheorte, einem etwa 10 m hohen Turme, eine horizontale Geschwindigkeit erteilt, indem der Wagen, auf dem er ruhte, heftig abgestoßen wurde. Am Ende des Turmes wurde der Wagen gebremst und der Ärodrom glitt zunächst nieder bis er die Schwebegeschwindigkeit erlangt hatte.

Graham Bell, der Erfinder des Telephons, beschreibt den Verlauf des berühmten 1 1/2 Minute dauernden Fluges des Ärodroms Nr. 5 in einem Briefe an die Pariser Akademie: „Der Ärodrom erhob sich zunächst direkt gegen den Wind, bewegte sich die ganze Zeit mit bemerkenswerter Stabilität und schwang sich schließlich in großen Kurven von vielleicht 100 Yards (= 90 m) Durchmesser, wobei er unausgesetzt stieg, bis sein Dampf zu Ende war. Nach Verlauf von etwa 1 1/2 Minuten und in einer Höhe, welche ich zwischen 80 und 100 Fuß (= 24 bis 30 m) schätze, hörten die Schrauben auf zu rotieren, und die Maschine, ihrer Triebkraft beraubt, fiel zu meiner Überraschung nicht, sondern glitt so sanft und langsam nieder, daß sie auf dem Wasser ohne jeden Stoß aufsetzte und sofort mit ihr ein neuer Versuch gemacht werden konnte. Der zweite Versuch, welcher auch sofort folgte, verlief in jeder Hinsicht wie der erste, mit Ausnahme, daß die Flugbahn eine andere war". (Zitiert nach Nimführ „Luftschifffahrt und Flugtechnik".) Bell schätzt die Flugstrecke auf etwa 900 m und die Stundengeschwindigkeit auf 32—40 km. Wenngleich ein großer manntragender Drachenflieger, den Langley nach denselben Prinzipien baute, im Jahre 1903 ein ungünstiges Ergebnis hatte, so beweist doch der Flug des Aerodroms zur Genüge, daß auch größere Drachenflieger möglich sind.

Bevor wir die weitere Entwicklung derartiger Flugzeuge darstellen, wollen wir, um auch auf die Licht- und Schattenseiten der einzelnen Konstruktionen eingehen zu können, zunächst einmal eine genauere Einsicht in die Wirkung der Kräfte am Drachenflieger zu bekommen suchen.

Das Hauptgeheimnis des Drachenfliegers besteht darin, daß die Tragfläche in schräger Stellung durch die Luftschraube bewegt wird. Die schräge Fläche zwingt die Luft, auszuweichen; sie strömt an der Tragfläche entlang schräg nach unten ab, weil sie dabei nur eine ganz geringe Schwenkung zu machen braucht. Dabei aber übt sie ihrerseits einen Gegendruck auf die Tragfläche aus und leistet dem Aviatiker den Dienst, den er von ihr verlangt; Sie schafft ihm den Auftrieb. Der Gegendruck oder Trägheitswiderstand der Luft nämlich, zu dem dann noch der



Kräfteschema des Drachenfliegers.

Die vom Propeller nach hinten gedrückte Luft bewirkt den Vortrieb v des Drachenfliegers: die Maschine läuft über den Boden hin. Dabei wird unter der Tragfläche die Luft zum Ausweichen gezwungen und bewirkt den Auftrieb a, der die vortreibende Kraft schwächt. Der Auftrieb äußert sich als lotrechter Auftrieb l a und als Rücktrieb r. l a muß das im Schwerpunkt S angreifende Gewicht s des Drachenfliegers mindestens aufheben. Der Überschuß la—s hebt den Apparat. Es bleibt also ein Vortrieb und Auftrieb übrig: diese Kräfte treiben den Flieger schräg in die Höhe. Beim wagerechten Fluge ist la = s. V = Vortriebsmittelpunkt; A = Auftriebsmittelpunkt; S = Massenmittelpunkt = Schwerpunkt. [v ist der Übersichtlichkeit wegen zu klein gezeichnet.]

Druck infolge der Luftkompression hinzutritt, wirkt schräg nach oben, also doch jedenfalls z. T. nach oben, wenn auch nicht genau senkrecht. Ein anderer Teil der Kraft jedoch wirkt in der Richtung, die der Flieger nicht einschlagen will, nämlich nach hinten.

Wir schließen hier entsprechend, als wenn wir in anderen Fällen vorhandene Bewegungen in ihre Teilbewegungen nach ihren verschiedenen Richtungen zerlegen und aus der Größe dieser Bewegungen auf die Größe der Kräfte schließen, die sie hervorrufen. Wenn z. B. ein Kahn durch die Kraft der Ruderschläge über einen Fluß getrieben und durch die Strömung des Flusses von der geraden Richtung abgelenkt wird, so können wir aus der wirklichen Bewegung sowohl auf die eigene Geschwindigkeit des Kahnes als auch auf die Schnelligkeit und Stärke der Strömung schließen. In der wirklichen Bewegung

kommt jede Einzelbewegung soweit zur Geltung, als sie von Einfluß gewesen ist.

Wie hier beim Kahn, so ist es auch beim Drachenflieger. Aus der Kraft, die die Größe und Wirkungsrichtung des Gegendrucks der Luft angibt, kann man entnehmen, wie stark der wirkliche Auftrieb ist, indem man nämlich diesen Gegendruck in seine beiden Bestandteile oder Komponenten zerlegt. Wir sehen dann, daß hier auch eine nach hinten gerichtete Kraft auftritt. Dieser sogenannte Rücktrieb verzehrt ein gut Teil des Vortriebes der Propeller. Er ist jedoch eine notwendige Beigabe und wird immer größer, je steiler der Aeroplan aufsteigen soll. Desto größer muß dann naturgemäß auch der Vortrieb sein. Bei jedem Fluge jedoch muß der genau nach oben wirkende Teil des Auftriebes mindestens ebenso groß sein wie der Abtrieb infolge der Erdanziehung; sonst wäre der Apparat nur imstande, auf der Erde entlang zu fahren oder von erhöhten Orten aus mehr oder minder lange Luftsprünge auszuführen. Der Überschuß des Auftriebes über den Abtrieb hebt den Flugkörper, während der Überschuß des Vortriebes über den Rücktrieb ihn vorwärts treibt. So steigt der Apparat schräg nach oben, folgend dem Spiel dieser beiden Kräfte, deren Größe der Aviatiker und oft die Tücke des Motors bestimmt.

Wir sahen bisher nicht ohne Grund von der Saugwirkung der über dem Apparat auftretenden Luftverdünnung ab. Wenngleich ihre Wirkung nicht entscheidend ist, so trägt sie doch zum Heben des Fluggerätes bei. Man kann sie sich vergegenwärtigen, wenn man sich denkt, daß diese Luftverdünnung den Apparat an die oberen Schichten der Luft anzusaugen bestrebt ist. Die Richtung der Saugkraft fällt also zusammen mit der Richtung der Druckkraft, der Luftverdichtung und des Luftwiderstandes. Sie schafft also gleichfalls Auftrieb und Rücktrieb zugleich, also nützliche und schädliche Wirkung.

Alle Kräfte, die auf den Drachenflieger einwirken, kann man sich in drei Punkten angreifend denken, dem Vortriebsmittelpunkt, dem Auftriebsmittelpunkt oder Druckmittelpunkt und dem Massenmittelpunkt oder Schwerpunkt. Die Lage dieser drei Punkte zueinander ist von besonderer Wichtigkeit namentlich für die Entscheidung der Frage: kann der Apparat fliegen, ohne vorwärts, rückwärts oder seitwärts zu kippen — oder in der Sprache der Flugtechnik: Ist er stabil? Von vornherein ist klar, daß alle drei Punkte in der Symmetrieebene des Flugkörpers

liegen müssen, sonst würde er im günstigsten Falle in seitlich schräger Stellung fliegen können. Eine andere Bedingung ist, daß die drei Punkte nicht in einen Punkt zusammenfallen. Sonst befände sich der Apparat nämlich im sogenannten indifferenten Gleichgewicht und könnte durch sehr kleine unvorhergesehene Windstöße gänzlich aus seiner Lage herausgebracht werden, ohne imstande zu sein, sich von selbst wieder aufzurichten. Der Drachenflieger würde sich dann ähnlich verhalten wie eine Kugel oder ein anderer fester Körper, der in seinem Schwerpunkte unterstützt ist: Jede neue Lage, die man solchem Körper gibt, ist wieder eine Gleichgewichtslage. Um das zu vermeiden, muß vor allem der Schwerpunkt unter den Druckmittelpunkt, der hier dem Unterstützungspunkt gleichwertig ist, verlegt werden. Doch ist es, wie wir bereits sahen, nicht vorteilhaft, daß der Schwerpunkt sehr tief liegt, da dann der Apparat zwar automatisch stabil ist, aber leicht durch äußere Kräfte aus seiner Lage gebracht wird und sich schlecht steuern läßt. Im allgemeinen verlegt man den Schwerpunkt etwas vor und unter den Druckmittelpunkt, so daß der Flieger stets eine gewisse Neigung hat, nach vorn zu kippen. Diese kann man durch verschiedene Mittel bekämpfen, z. B. durch das bereits erwähnte Pénaudsteuer, das eine entgegengesetzt gerichtete drehende Bewegung des Hinterendes hervorruft.

Wichtig ist auch die Anbringungsstelle der Propeller. Befinden sie sich hinten, so wirken sie als Druckschrauben. Ähnlich wie man nun einen Wagen an der Deichsel nur mühsam vor sich her stoßen kann, ohne daß seitliche Abweichungen eintreten, so wird auch eine Druckschraube leichter Kursänderungen herbeiführen, als eine vorn angebrachte sogenannte Zugschraube. Doch haben die Zugschrauben den Nachteil, daß der starke von ihnen hervorgerufene Luftstrom den Führer belästigt. Viel mehr aber als hierauf kommt es auf die Höhenlage des Vortriebszentrums an. Liegt es nicht in gleicher Höhe mit dem Druckmittelpunkt, sondern darunter, so wird stets ein Drehmoment auftreten, das bestrebt ist, den Flieger in die Höhe zu treiben, gleichgültig, ob wir es mit einer Druck- oder Zugschraube zu tun haben. Dieser Nachteil könnte zwar beim gleichmäßigen Fluge durch eine entsprechende Stellung des Höhensteuers aufgehoben werden, doch würde dessen Stellung dann bei schwankender Geschwindigkeit stets verändert werden müssen, da sich ja dann die einzelnen Kraftkomponenten verändern. Man begegnet diesem Übelstande im allgemeinen dadurch, daß man den Druckmittelpunkt und das Vortriebszentrum ungefähr in eine Horizontale legt.

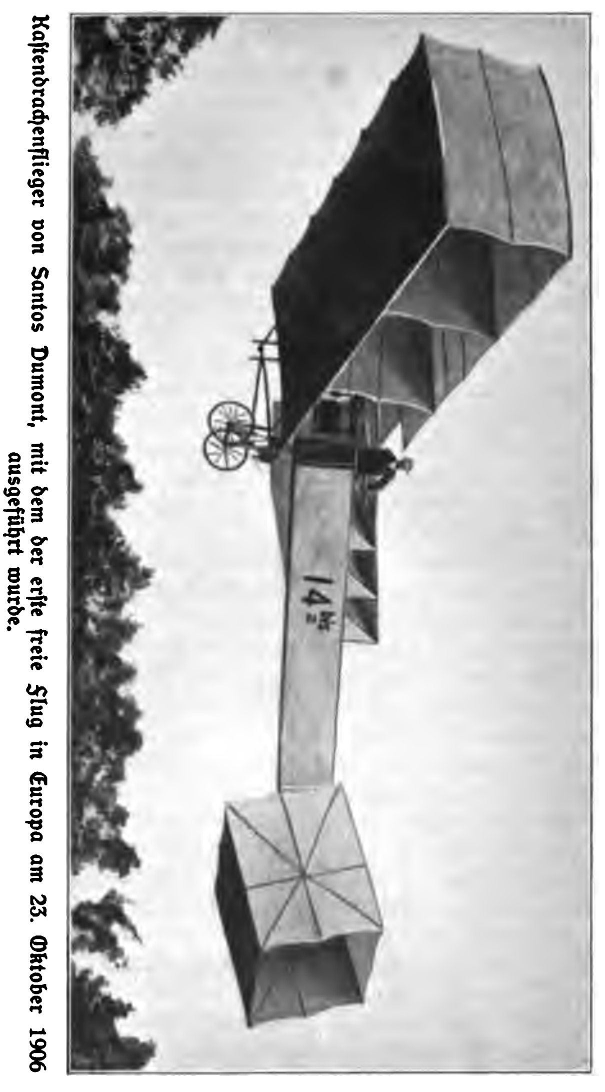
In derselben Horizontalen liegt am vorteilhaftesten auch das Höhensteuer, das teils vorn, teils hinten angebracht wird und es dem Führer ermöglichen soll, Veränderungen in der Höhenrichtung willkürlich auszuführen. Befindet sich das Höhensteuer wie z. B. bei dem Wrightschen und dem Voisinschen Doppeldecker vor den Tragflächen, so bewirkt eine Aufdrehung (d. h. eine Schrägstellung nach vorn und oben) einen verstärkten Auftrieb des Vorderteils, indem der relative Gegenwind gegen das Steuer genau so drückt, wie gegen die schräg gestellte Haupttragfläche. Der Vorderteil wird sich also heben, d. h. der Apparat steigt. Umgekehrt, wenn der Drachenflieger das Höhensteuer hinten trägt, so muß es abgedreht werden, d. h. der Vorderrand muß nach unten zeigen, wenn derselbe Erfolg erzielt werden soll. Dann drückt die Luft nämlich gegen die Oberfläche und drückt das Hinterende herunter; sie hebt also gleichzeitig den Vorderteil. In diesem Falle übt jedoch der Luftdruck auch eine abtreibende Wirkung aus, da seine Richtung schräg nach unten zeigt, also eine vertikal abwärts gerichtete Komponente oder Teilkraft enthalten muß. Das stirnständige Höhensteuer hingegen vermehrt noch den Auftrieb, ist also in dieser Hinsicht jedenfalls vorteilhafter.

Um ein Umkippen des Apparates in der Längs- und Querrichtung zu verhindern, hat man verschiedene Mittel angewandt. Diese werden wir erwähnen, wenn wir nun auf die neueren Erfolge der Drachenflieger eingehen.

Zur Zeit des Baues der Langleyschen Drachenflieger nimmt man fast in allen Kulturländern die Verwirklichung des Drachenfliegerproblems in Angriff. In Österreich baut der Ingenieur Wilhelm Kreß einen großen Drachenflieger. Schon vorher hatte Hiram Maxim, der berühmte Erfinder der Schnellfeuerkanone, mit einem Kostenaufwande von über 400000 Mark einen gigantischen Drachenflieger konstruiert und den Beweis erbracht, daß selbst große Lasten dynamisch in die Luft erhoben werden können. Sein Apparat, der sich zwar nur wenig von den Schienen abhob, wog über 3600 kg. Weiter baute damals der französische Aviatiker Ader seinen großen Fledermausdrachenflieger mit zusammenlegbaren Flächen.

Inzwischen hatten die Gebrüder Wright ihre Versuche mit den Gleitfliegern fortgesetzt und waren dazu übergegangen, einen Motor in den Gleitflieger einzubauen. Das war im Jahre 1903. Gegen Ende dieses Jahres, am 17. Dezember, führten sie bereits ihren Motordrachenflieger vor, der allerdings

damals erst in der Lage war, einige kleine Luftsprünge auszuführen. Nun aber ging es schnell vorwärts. Hatten die Flüge im



Kastendrachenflieger von Santos Dumont, mit dem der erste freie Flug in Europa am 23. Oktober 1906 ausgeführt wurde.
(Nach der „Aviatik" [Sonderheft der Woche] gezeichnet.)

Jahre 1903 nur 260 m erreicht, so gelang es schon zwei Jahre darauf, 38,9 km in 38 Minuten zurückzulegen. Damit war

bereits gezeigt, daß der Drachenflieger aus dem Anfangsstadium herausgekommen war. Nun vergingen Jahre, wo man nichts von den weiteren Erfolgen der Brüder hörte.

Inzwischen hatten jedoch auch andere Konstrukteure Erfolg gehabt: Bereits Ende 1906 waren auf dem europäischen Kontinent fast zu gleicher Zeit von dem Brasilianer Santos-Dumont und dem Dänen Ellehammer einige kurze Flüge ausgeführt worden. Santos-Dumont hatte seinen Flieger aus Kastendrachen zusammengesetzt. Die Haupttragflächen waren in V-Form gegeneinander geneigt und wurden durch eine hinten angebrachte Luftschraube bewegt. Ein 50pferdiger Antoinette-Motor lieferte den Antrieb.

Als jedoch in Frankreich zahlreiche weitere Versuche unternommen wurden und auch die Erfolge sich mehrten, traten im Jahre 1908 die Gebrüder Wright an die Öffentlichkeit. Orville Wright flog in Fort Myers, Wilbur Wrihgt kam nach Europa und flog bei Le Mans. Nun kam der August 1908, wo die Zeitungen beinahe alle Tage von den Flügen der Brüder berichteten. Bald brachten sie auch die ersten Abbildungen der Flugmaschinen — welch sonderbare Drachen! Staunend sahen wir sie und konnten uns nicht denken, wie sie in die Luft kommen sollten.

Die Motordrachenflieger der Gebrüder Wright sind nach genau denselben Prinzipien gebaut wie ihre Gleitflieger, die wir bereits kurz beschrieben. Die beiden Tragflächen sind 2 Meter lang und 12 Meter breit und zur Vergrößerung der Tragfähigkeit schwach gewölbt. Das Wölbungsverhältnis beträgt etwa 1:19. Vor den Tragflächen befindet sich das paarige Höhensteuer, hinter ihnen das ebenfalls paarige Seitensteuer. Die Wrights haben zunächst ganz darauf verzichtet, ihren Apparat automatisch stabil zu bauen. Die Stabilisierung ist also ganz in die Hand des Führers gelegt, und gerade hierin liegt einer der Hauptgründe ihres Erfolges. Die Längsstabilität erreichen sie mit dem Höhensteuer, die Querstabilität durch die Flächenverwindung und das Seitensteuer.

Die Flächen des Höhensteuers sind nicht eben, sondern können bald nach oben, bald nach unten gewölbt werden. Soll der Flieger steigen, so muß die Vorderkante höher liegen als die Hinterkante. Damit dann durch das Steuer noch Auftrieb gewonnen wird, wird durch dieselbe eine Hebeldrehung, die das Steuer aufdreht, zugleich die Fläche nach oben gewölbt, so daß ihre Wölbung also der der Haupttragflächen entspricht und dem-

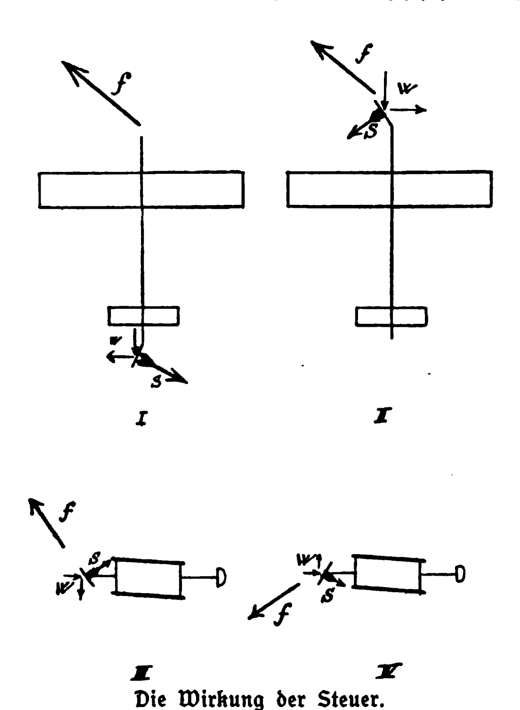
nach beide Wirkungen sich ergänzen. Fliegt der Apparat horizontal, so steht auch das Höhensteuer wagerecht. Dann sind die Flächen jedoch auch nach unten hohl, so daß sie noch tragen können. Soll sich der Apparat neigen, so wird das Steuer abgedreht — die Vorderkante liegt dann also tiefer — und die Fläche ist oben hohl. Durch diese Anordnung wird einmal an Auftrieb gewonnen, sodann aber auch an Fläche gespart, da gewölbte Flächen wirkungsvoller sind als ebene.

Obwohl das Höhensteuer vorn an sich eben so gut wirkt wie hinten, so ergeben sich doch mancherlei Bedenken dagegen, es an der Stirnseite zu lassen. Vorreiter hat in seinem lesenswerten Buche: „Kritik der Drachenflieger" den Nutzen dieser Einrichtung gegen den Schaden abzuwägen gesucht. Das stirnständige Höhensteuer verdeckt die Aussicht und kann beim Landen leicht beschädigt werden. Auch kann sich der Flieger leichter überschlagen oder doch nicht in der gewünschten Stellung landen, wenn es der Führer versäumt, das Höhensteuer rechtzeitig abzudrehen. Hinten hingegen dient das Höhensteuer zur Erhöhung der Längsstabilität, ganz ähnlich wie das Pénaudsteuer oder größere Schwanzflächen.

Neuere Versuche der Reinickendorfer Gesellschaft „Flugmaschine Wright" lassen jedoch erkennen, daß man mit der Erhaltung der Längsstabilität ausschließlich durch den Führer nicht zufrieden ist. Der Wrightsche Doppeldecker erhält eine Schwanzfläche, damit sich Schwankungen um die Querachse zum Teil von selbst ausgleichen und der Führer entlastet wird. Die gepriesene Schwanzlosigkeit wird damit preisgegeben. Zugleich bedeutet die Neuerung eine Anerkennung einer Haupteigenschaft der Voisinschen Doppeldecker.

Besondere Beachtung verdient die sinnreiche, allerdings zu komplizierte seitliche Stabilisierung des Wrightschen Apparates. Wir hatten oben das Hauptprinzip schon kurz angedeutet. Die Tragflächen werden aufgebogen oder abgebogen, wenn ein Windstoß den Flieger aus der horizontalen Lage entfernt. Der Vereinfachung wegen hatten wir oben angenommen, daß nur die Hinterenden auf einer Seite verwunden werden. In Wirklichkeit verstellt der Führer durch eine einzige Bewegung beide Endenpaare und zwar nach verschiedenen Seiten, die der einen Seite nach oben und die der anderen nach unten. So verstärken sich beide Wirkungen. Und zwar muß auf der gerade herabgedrückten Seite die Tragfläche nach unten verwunden werden, so daß sich hier der Widerstand, also auch der Auftrieb vermehrt und diese Seite wieder nach oben kommt; auf der höher gelegenen

wird durch die Aufdrehung der Tragflächenenden der genau entgegengesetzte Erfolg erreicht. Die Wölbung wird vermindert und ihre tragende Wirkung abgeschwächt. Die Folge davon ist also, daß zugleich die gerade höher liegende Seite herabgedrückt wird. Diese klug ersonnene Vorrichtung ist jedoch auch mit einem Nachteil verbunden, der die Steuerung der Wrightschen Doppeldecker



Die Wirkung der Steuer.

I u. II Seitensteuerung. (I. Seitensteuer rückenständig, II. stirnständig.) III u. IV Höhensteuerung. (III. Höhensteuer aufgedreht, IV. abgedreht.) W Windrichtungen am Steuer. S Steuerdruckrichtung. F Flugrichtung.

recht erschweren soll. Die Veränderung der Wölbung führt zwar nach Wunsch des Führers den Apparat in die horizontale Lage zurück, ruft jedoch auch auf der Seite, wo die Wölbung vermehrt wird, eine größere Hemmung hervor, so daß diese Seite im Fluge zurückbleibt. Der Flieger, der in die wagerechte Lage zurückgedreht wird, beschreibt also zugleich eine Kurve — wenn nicht zugleich das rückenständige Seitensteuer so verstellt wird, daß der Kurs erhalten bleibt. Dadurch aber wird ein neuer

Widerstand hervorgerufen, der keinen Auftrieb liefert, da ja nur mehr Teile der Fläche in die Fahrtrichtung geschoben werden. Es wird also bei gleichbleibender Motorkraft zugleich eine Verminderung der Geschwindigkeit, also auch eine Verminderung des Auftriebes eintreten; der Apparat wird sich senken, wenn nicht zugleich noch das Höhensteuer aufgedreht wird. So erfordert die seitliche Stabilisierung zugleich die Betätigung dreier Organe des Drachenfliegers. Obwohl diese beim Wrightschen Apparat durch zwei Hebel erreicht wird, erfordert sie doch große Geschick-



Drachenflieger Wright im Fluge (Flugrichtung nach links).

lichkeit und Übung des Führers. Diesem Umstande schreibt es Vorreiter zu, wenn bisher nur wenige den Wrightschen Apparat zu steuern gelernt hätten.

Die Betätigung des Seitensteuers ist eine sehr einfache. Ist es, wie beim Wrightschen Doppeldecker, hinten angebracht, so bewirkt eine Drehung der Fläche von vorn rechts nach hinten links einen nach hinten rechts gerichteten Luftdruck gegen diese Fläche. Abgesehen von dem schädlichen Rücktrieb, wird also dadurch eine Druckkraftkomponente nach rechts für den hinteren

Teil hervorgerufen, die dem ganzen Flieger eine Drehung nach vorn links aufzwingt. Liegt das Seitensteuer vorn, wie es bei dem Kastendrachenflieger von Santos-Dumont der Fall war, so ist die Wirkung die genau entgegengesetzte. Heute bringt man das Seitensteuer allgemein hinten an, da es so, ähnlich wie der Schwanz einer Windfahne, gleichzeitig zum Einstellen des Drachenfliegers in die Kursrichtung, also als seitliche Stabilisierungsfläche dient.

Zur Unterstützung des Seitensteuers dienen bei Wright zwei kleine halbmondförmige Flächen, die vertikal zwischen den beiden horizontalen Flächen des Höhensteuers angebracht sind.

Noch eine Einrichtung ist zu skizzieren, die den Wrightschen Drachenflieger von den anderen Flugzeugen gleicher Gattung unterscheidet: Ich meine die Abflugvorrichtung. Der Apparat wird auf einem Startwagen ruhend, durch den Fall eines Gewichtes auf einer Anlaufschiene entlang gerollt, indem ein über Rollen laufendes Seil die senkrecht nach unten gerichtete Bewegung des Fallgewichtes in einen Zug nach vorn verwandelt. So bekommt der Flieger schnell eine große Geschwindigkeit und hebt sich bereits am Ende der kurzen Anlaufschiene von der Startvorrichtung ab. Das Abfluggestell bleibt also auf dem Boden zurück; das Gewicht des Fluggeräts wird dadurch wesentlich verringert. Zum Landen ist der Flieger mit Schlittenkufen versehen, die durch ihre federnde Wirkung den Stoß abschwächen und durch die große Reibung am Boden den Apparat schnell aufhalten. Diese Kufen haben sich zudem als recht widerstandsfähig gegen die Stöße gezeigt. Ein Abfliegen ohne Anlaufgestell ist den Wrightschen Doppeldeckern jedoch nur bei Gegenwind möglich gewesen. Dabei ist die starke Reibung der Kufen auf der Erde allerdings von Nachteil. Der Hauptmangel der Startvorrichtung aber ist, daß sie den Abflug an bestimmte Stellen bannt. Wenn ein Wrightscher Aeroplan einmal aus irgendeinem Grunde, z. B. wegen Versagens des Motors oder geringen Defektes an den Tragflächen oder der Steuerung zum Niedergehen auf freiem Felde gezwungen ist, so ist er, wenn nicht günstige Windverhältnisse obwalten, nicht leicht wieder in die Höhe zu bringen. Zwar überwinden die Schlittenkufen kleine Unebenheiten des Bodens leichter als die von den anderen Aviatikern angewandten Räder, doch dürfte die Reibung immerhin so groß ausfallen, daß ohne Hilfe des Gegenwindes nur ein sehr starker Motor dem Flieger die Schwebegeschwindigkeit erteilen kann. Es geht ihm wie vielen, namentlich großen Vögeln, die schwer

abfliegen können und sich zum Teil daher besondere Startvorrichtungen angeschafft haben: Ich meine die langen Beine



Doppeldecker Wright auf der Anlaufschiene.
(Nach einer Abbildung in der „Aviatik“ [Wocke] gezeichnet.)

der Stelzvögel. Bei einem anderen Fluggerät, nämlich dem ersten Drachenflieger des Regierungsrats Hofmann, ist diese

Vorrichtung sogar kopiert: Er stellte seinen Apparat auf Stelzen und benutzte den Flieger selbst als Fallgewicht. Sollte nämlich der Flieger seinen Flug beginnen, so wurden die Stelzen umgelegt, und das Fluggerät kam durch Gleitflug in die Schwebegeschwindigkeit. Auch diese Vorrichtung dürfte sich schwerlich bewähren, weil der stehende Flieger vom Wind leicht umgeworfen werden kann. Vorreiter schlägt daher in seiner „Kritik der Drachenflieger“ eine neue, einfache, im Bedarfsfalle leicht herstellbare Startvorrichtung vor: Der Drachenflieger wird durch einen Flaschenzug an einem aus zwei (besser wohl drei) dicken Stangen gebildeten Gerüst in die Höhe gezogen; dann werden



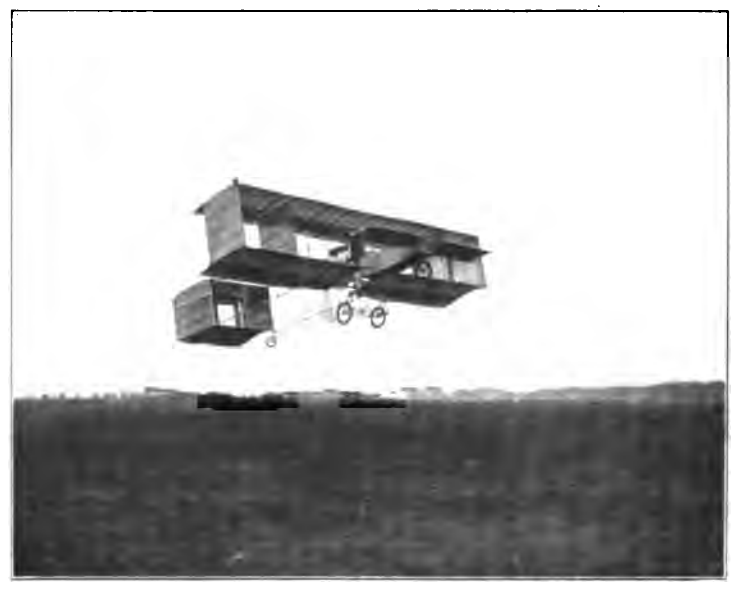
Doppeldecker Voisin.

die Schrauben in Gang gesetzt, und der Flieger wird vom Halteseil befreit, worauf er zunächst eine kurze Gleitflugkurve beschreibt und dann zum Schwebflug übergeht.

Besser als alle diese Vorrichtungen scheint jedoch ein leichtes und hinreichend stabiles Wagengestell zu sein, mit dem die Drachenflieger des zweiten Haupttypus der Doppeldecker von Anfang an ausgestattet waren, des Systems Voisin-Farman.

Die Vorzüge dieser Vorrichtung — leichter Abflug ohne besonderes Gestell und langsame Hemmung der Wucht des Stoßes bei der Landung — dürften die Nachteile der langen Anlauf- und Auslaufstrecken im allgemeinen überwiegen. Dafür spricht auch die Tatsache, daß man jetzt auch Wrightsche Doppeldecker mit viel Glück auf Rädern montiert.

Die Voisinflieger, die unter sehr verschiedenen Namen, mit vielen mehr oder weniger geringen Abänderungen, als Drachenflieger von Farman, Delagrange, de Caters, Goupy, Zipfel, Sanchez-Besa und andern bekannt sind, haben ein leichtes Untergestell mit zwei größeren Vorderrädern und zwei kleinen Hinterrädern. Zum Teil tritt noch vorn unter dem Höhensteuer eins hinzu, das beim Anlauf den Boden nicht berührt, sondern zum Auffangen des Stoßes beim Landen bestimmt ist, wenn der Doppeldecker als Gleitflieger niedergeht.



Doppeldecker Voisin im Fluge.

Die Form der Voisinschen Flieger erinnert etwas an den ersten Kastendrachenflieger, mit dem Santos-Dumont den ersten freien Flug in Europa ausführte. Die äußere Form dieses Apparates befriedigt die Anforderungen der Ästhetiker zweifellos noch weniger als die der Wrightschen Konstruktion; doch fragt die Technik heut noch nicht danach, sondern zuerst naturgemaß nach der Leistungsfähigkeit überhaupt. Und da diese vorhanden ist, haben sich die Voisinschen Doppeldecker ein gut Teil des Feldes erobert.

Mit dem Wrightschen Duplex hat der Voisinsche die Anzahl, Größe und Gestalt der Haupttragflächen und die stirnseitige

Anordnung des Höhensteuers gemein. Auch hier trägt eine 12½ m breite, 2 m tiefe Doppelfläche von zusammen 50 qm Flächeninhalt. Ein Hauptunterschied jedoch ist die Anbringung von vertikalen Verbindungsflächen. Diese sollen die seitliche Stabilität erhalten. Bei der ersten Ausführung fehlten sie zwar noch; dafür waren die Tragflächen schwach nach oben gebogen, um so eine dynamische Fesselung in der Querrichtung zu erreichen. Längere Zeit erprobte man dann mit gutem Allgemeinerfolge Apparate mit vier Vertikalflächen, von denen zwei an den Enden standen und zwei etwa in einer Entfernung von ein Fünftel der gesamten Breite von den Enden. Der Vorteil dieser Flächen ist offenbar die automatische Kurserhaltung. Sie stellen sich nämlich und damit zugleich den Flieger wie eine Windfahne in die Richtung des relativen Gegenwindes, also hier in der Regel des Flugwindes ein. Wenn jedoch ein stärkerer seitlicher Wind weht, so sind diese Flächen dem Flieger sehr hinderlich, indem sie ihn vom Kurse abtreiben. Deswegen hat Farman seinem letzten Drachenflieger eine in dieser Hinsicht wieder dem Ausgangsapparat angenäherte Form gegeben.

Eine weitere wesentliche Neuerung des Voisinschen Doppeldeckers ist der an langem Gestell befestigte Schwanzkasten. Seine Seitenflächen dienen der Kurserhaltung, seine Grund- und Oberfläche der Stabilisierung in der Längsrichtung, indem sie bei Schwankungen um die Querachse ein Gegendrehmoment hervorrufen.

Überhaupt ist beim Voisinschen Doppeldecker die Erhaltung des Gleichgewichts mehr in den Apparat hineingelegt. Ein anders Mittel zu demselben Zweck ist die größere Unterlastigkeit. Daher ist das Steuern der Voisinschen Drachenflieger leichter als das der Wrightschen, zumal sich hier alle Steuerbewegungen durch das von der Automobiltechnik herübergenommene Steuerrad ausführen lassen: Eine Drehung verstellt das hinten angebrachte Seitensteuer, eine Verschiebung das vornstehende Höhensteuer.

Um auch dem Flieger Einfluß auf die Querstabilität zu geben, hat Farman an seinem Apparat an der Hinterseite der Tragflächen kleine um wagerechte Achsen drehbare Zusatzflächen angebracht; sie dienen, wenn auch mit mehr Verlust an Energie, ungefähr demselben Zwecke wie die Tragflächenverwindung der Gebrüder Wright; kippt der Flieger z. B. nach links, so wird die linke Fläche durch Betätigung eines Fußhebels gesenkt, daher der Auftrieb hier vermehrt. Freilich wächst dadurch auch der Rücktrieb, so daß dem Flieger eine unfreiwillige Kurve aufge-

zwungen wird, wenn man nicht gleichzeitig das Seitensteuer entsprechend dreht.

Die Voisinschen Apparate werden durch eine Druckschraube angetrieben. Da deren Achse unter dem Druckmittelpunkt liegt, so bewirkt sie beständig ein Drehmoment, das die Vorderkante der Tragflächen hebt. Dadurch aber wird der Schwanzkasten herabgedrückt und der hebende Luftwiderstand am hinteren Ende vermehrt. So entsteht hinten ein neues Drehmoment, das dem vorderen das Gleichgewicht hält.

Wenn der Voisinsche Doppeldecker zum Auftrieb Anlauf nimmt, so heben sich zuerst die Hinterräder vom Boden ab. Da nämlich auch die Horizontalflächen des Schwanzkastens als Tragflächen ausgebildet sind, so liefern sie viel Auftrieb, und da sie zunächst stark gegen die Bewegungsrichtung geneigt und schwach belastet sind, so hebt sich der Kasten. Diese Wirkung des ersten Anlaufes ist vom Konstrukteur gewollt. Dadurch stellen sich nämlich die Haupttragflächen unter geringem Winkel gegen die Bewegungsrichtung ein und vermindern den Luftwiderstand. Es kann also leicht eine große Geschwindigkeit erreicht werden. Ist diese nach dem Durchlaufen von etwa 100 Metern vorhanden, so wird das frontale Höhensteuer, das bisher gesenkt war, aufgedreht. So wird vorn ein verstärkter Auftrieb erreicht, der im Verein mit dem Auftrieb der Haupttragflächen den ganzen Flieger emporhebt. Im Fluge selbst sorgen dann die Schwanzflächen und das Höhensteuer für die gewünschte Einstellung der Tragflächen.

Im allgemeinen ist der Voisinsche Doppeldecker daher leichter zu beherrschen als der weniger automatisch stabile Wrightsche Duplex, doch ist die Leistungsfähigkeit des letzteren größer. Er kann besser dem Winde trotzen und viel kürzere Kurven nehmen als der dabei durch die Vertikalflächen stark behinderte französische Typus.

Der Voisinsche Doppeldecker dürfte demnach der Zukunftsflieger nicht sein. Ob es überhaupt ein Zweidecker ist?

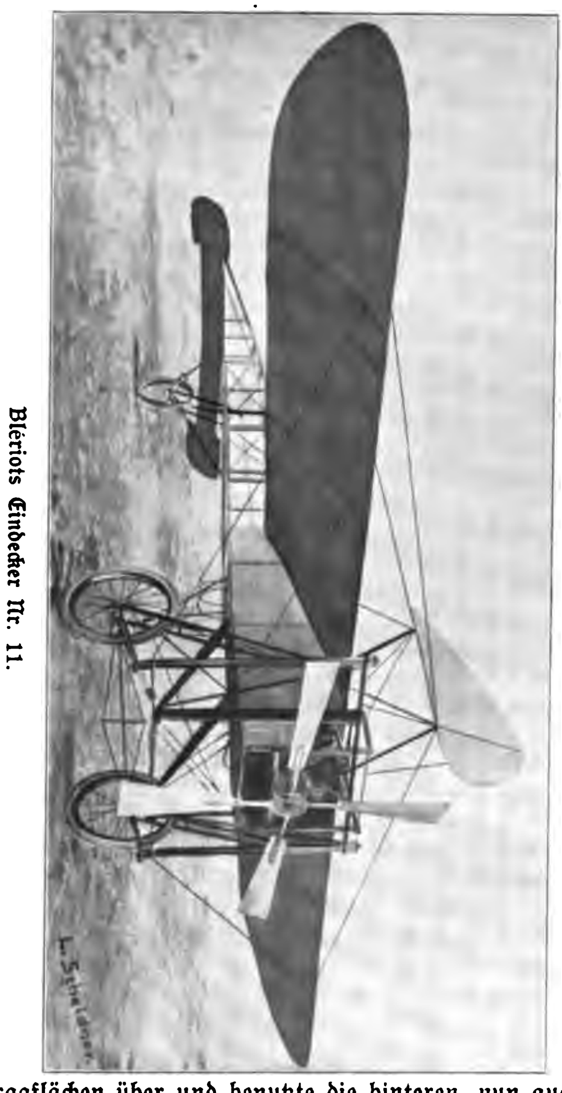
Die Meinung ist gegenwärtig, daß die Aussichten der Eindecker günstiger sind. Ein Doppeldecker läßt sich allerdings bequemer versteifen und nimmt nicht einen so großen Raum ein, auch ist er leichter zu lenken, wohl hauptsächlich, wie ich oben ausführte, aus dem Grunde, weil Schwingungen weniger leicht auftreten können als bei den in der Regel stärker unterlastigen Eindeckern, dann aber auch deshalb, weil die zwischen den Tragflächen eingeschlossene Luft die Schwingungen besser dämpft.

Diesen Vorzügen stehen aber nicht unbedeutende Nachteile gegenüber. Da nämlich die obere Tragfläche, wenn der gegenseitige Abstand nicht sehr groß ist, zum Teil im Druckschatten der unteren liegt, so ist die Tragfähigkeit des Doppeldeckers geringer. Schließlich lassen sich die Schwankungen des Fluggerätes auch noch anders bekämpfen als durch Flächenverdoppelung, z. B. durch die noch zu erläuternde Kielung. Es bliebe also als Vorzug des Doppeldeckers nur noch die festere Bauart übrig. Diese aber erreichen die Eindecker zum Teil durch Verkleinerung der Flächen, die allerdings nur möglich ist bei entsprechender Vergrößerung der Geschwindigkeit. Dadurch wird der Nachteil sogar in einen Vorteil verkehrt — wenigstens so lange man sich in der Luft befindet. Hier nämlich ist eine große Geschwindigkeit offenbar unschädlich. Beim Landen aber kann sie gefährlich werden, da dann der unten gebremste Flieger sich leicht überschlagen oder gegen Gegenstände anrennen oder doch seine Hemmungsvorrichtung beschädigen kann.

Die Eindecker, die vermutlich die Nachfolger der Zweidecker sein werden, hatten lange keine guten Erfolge zu verzeichnen, als schon mit Zweideckern große und sichere Flüge gelungen waren. Doch haben sie sich in letzter Zeit schnell entwickelt. Die bedeutendsten Systeme sind gegenwärtig die von Blériot, von Levavasseur und Ferber oder der „Antoinette"-Typus, die von Esnault-Pelterie und von Santos-Dumont.

Der erste Eindecker Blériots zeigt eine eigenartige Gestalt. Hinter der Tragfläche von der Gestalt der Zanonia-Samen befindet sich das Seitensteuer und die Schraube, ziemlich weit vorn das Höhensteuer. Als sich mit diesem Apparat keine Erfolge erzielen ließen, ging Blériot zum Biplan über, d. h. zu einem Eindecker mit zwei hintereinander angeordneten Tragflächen, vorn einer größeren und hinten einer kleineren, die zugleich als Höhensteuer diente. Zur Erhaltung der Längsstabilität diente die ziemlich große Schwanzfläche. Die Seitenstabilität erzielte Blériot später durch kleine Zusatzflächen an den äußeren Tragflächenenden. Diese waren um eine zur Querrichtung des Flugzeuges parallele Achse drehbar. Obwohl sie ziemlich klein waren, erzielten sie doch eine hinreichende Wirkung wegen des großen Hebelarmes. Die Betätigung und Wirkungsweise ist eine ganz ähnliche wie die des Verwindens der Tragflächen; nur ist der nützliche Effekt nicht so groß. Mit diesem Eindecker führte Blériot im Jahre 1908 die erste Rundreise über Land aus. Bald ließ er die Stabilisierungsflächen an den großen vorderen Tragflächen

weg, wandte sie nur an den hinteren an und vergrößerte dafür die Drehungswinkel. Schließlich ging er zur Verwindung der



Blériots Eindecker Nr. 11.

Haupttragflächen über und benutzte die hinteren, nun auch verkleinerten Flächen nur als Höhensteuer. Das Seitensteuer steht

bei diesen Apparaten gleichfalls hinten, die Schraube dagegen vorn. Mit diesem im Vergleiche mit den Doppeldeckern sehr einfachen Apparat gelang im Juli 1909 die Überquerung des Ärmel-Kanals von Calais nach Dover, die den Namen Blériot schnell berühmt gemacht hat. Dieser Blériotsche Eindecker Nr. 11 ist sehr klein. 14 qm Fläche müssen das Gewicht von etwa 340 kg tragen. Die Belastung der Flächeneinheit ist daher eine sehr hohe (24 kg auf das Quadratmeter).

Eine zweite und wohl die bedeutendste Einflächnerkonstruktion ist der von Levavasseur gebaute Antoinette-Drachenflieger, der durch die Erfolge Lathams auf dem Tempelhofer Felde und in



Eindecker „Antoinette".

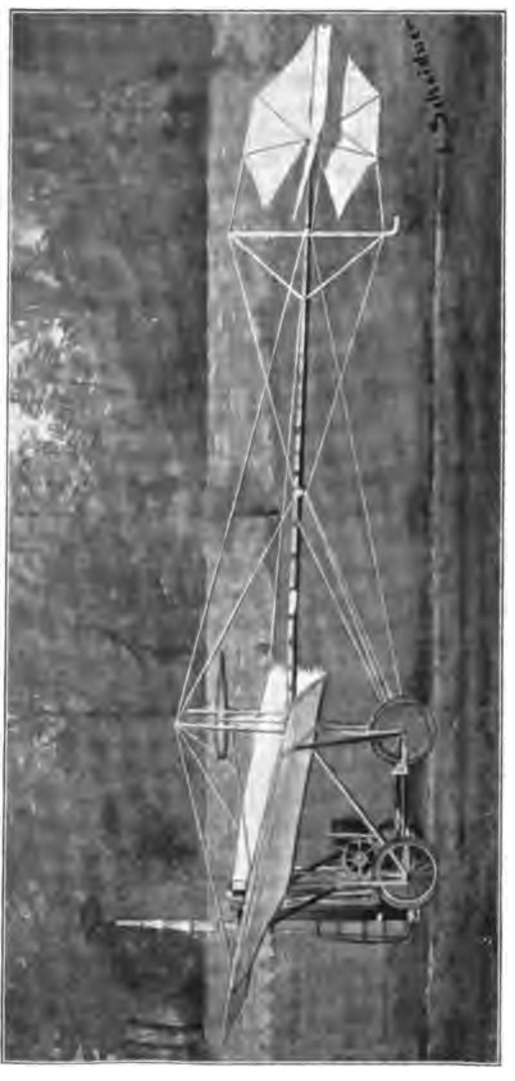
Johannistal-Adlershof auch in Deutschland bekannt wurde und einen sehr guten Eindruck hinterließ. Der kühne Führer auf dem großen sicher fliegenden und schön gebauten Fluggerät wurde schnell ein Liebling der Berliner. Unsere Abbildung zeigt uns den flugbereiten Apparat nach einer Aufnahme in Johannistal. Die 12,8 m breite, außen 2,6 und innen 3,4 lange Tragfläche von einem Flächeninhalt von etwa 42 qm ist schwach V-förmig nach oben gebogen, so daß eine gewisse Kielung zustande kommt. Diese dient zur Erhaltung der Seitenstabilität. Wird nämlich einmal durch einen seitlichen Windstoß die eine Seite der Tragflächen gehoben und die andere gesenkt, so kann die Luft an der gehobenen Seite leichter abströmen als an der anderen, wird also an der gehobenen weniger Auftrieb liefern. Dadurch wird die

herabgedrückte Seite automatisch gehoben. Zugleich wirkt noch in demselben Sinne ein Drehmoment, das von dem Gewicht des Flugkörpers geliefert wird. Der Druckmittelpunkt liegt nämlich, wenn der Apparat sich neigt, nicht in der Mediane, sondern auf seiten des größeren Druckes, d. h. auf der gesenkten Seite. Da nun die Rückkehrschwingungen zur Gleichgewichtslage um den Druckmittelpunkt erfolgen und der Schwerpunkt wieder unter den Stützpunkt zu kommen strebt, so ergänzen sich beide drehenden Wirkungen. Außer der Kielung ist noch eine Vorrichtung vorhanden, um die Seitenstabilität wieder zu erreichen, nämlich eine Verwindung der Tragflächen nach dem Vorbild der Wrights. Die Steuer liegen hier, ähnlich wie beim Blériotschen Eindecker, ganz hinten. Den Antrieb liefert eine Zugschraube, getrieben von einem 40—50 pferdigen, gut gekühlten Motor. Abweichend ist die Montierung. Zwei Räder stehen auf gemeinsamer Achse, und davor befindet sich eine Landungskufe mit pneumatischer Federung.

Erwähnt seien dann noch die Konstruktionen von Esnault-Pelterie und Santos-Dumont. Der Eindecker von Esnault-Pelterie hat etwa die Größe des Blériotschen. Auch hier ist daher die Belastung und folglich auch die zum Fluge nötige Horizontalgeschwindigkeit recht groß. Die Tragfläche ist hier für eine doppelte Verwindung eingerichtet: Wenn man den Vorderrand einer Seite abdreht, so wird der Hinterrand derselben Seite aufgedreht, während die andere Seite gerade im entgegengesetzten Sinne verwunden wird. Die Seitenstabilität ist also hier nicht automatisch. Die Längsstabilität hingegen ist wie bei den anderen Eindeckern durch das Anbringen der Schwanzfläche halb automatisch. Eigenartig ist die Landungsvorrichtung. Um eine Beschädigung der Tragflächenenden beim Landen zu vermeiden, ist dort jederseits ein Rad angebracht. Auf diesem ruht auch vor dem Anlauf ein Teil des dann seitlich schräg stehenden Apparates. Beim Anlauf selbst muß, da in der Mitte nur vorn und hinten je ein Rad angebracht ist, das Gleichgewicht in der Querrichtung vom Führer erhalten werden.

Endlich sei noch die „Demoiselle" Santos Dumonts erwähnt, der kleinste flugfähige Eindecker. Die V-förmige Tragfläche faßt nur 10 qm. Der schlanke und zierliche Apparat führt seinen Namen nicht zu Unrecht. Bemerkenswert ist noch an ihm das rückenständige Höhen- und Seitensteuer, das um ein Kugelgelenk drehbar ist. Santos Dumont legte mit dem Apparat in 5 Minuten 8 km zurück und erreichte damit eine Geschwindigkeit, die hinter

der größten von Flugmaschinen überhaupt erzielten — 110 km in der Stunde — nicht sehr erheblich zurücksteht.



Eindecker von Santos-Dumont „Demoiselle".

Wir wenden uns jetzt zur Besprechung allgemeinerer Fragen über die Drachenflieger. Sehr wichtig für die Drachenflieger ist

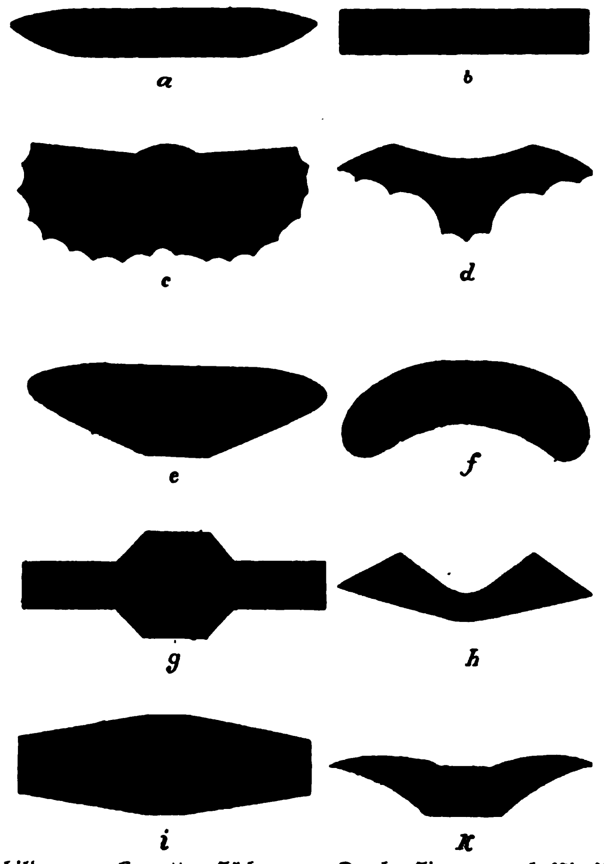
die Beschaffenheit der Kraftquelle, des Motors. Ganz ähnlich wie auf dem Gebiete der Meteorologie eine anscheinend abseits liegende Erfindung, die der Telegraphie, außerordentlich förderlich auf den Stand der Wissenschaft im allgemeinen, sowie besonders auf das Aufstellen brauchbarer Wetterprognosen eingewirkt hat, so ist hier die Beschaffung leichter Motoren, namentlich infolge des Aufschwunges der Automobilindustrie sehr förderlich gewesen. Die Dampfmaschinen des alten Typus waren für Drachenflieger zu schwer, und alle Konstrukteure, die einen Dampfmotor anwenden wollten, waren daher besonders darauf bedacht, sein Gewicht möglichst zu verkleinern. Als Hiram Maxim vor fast 20 Jahren seinen Drachenflieger bauen wollte, waren die spezifischen Motorgewichte, d. h. ihre Gewichte für die Leistung einer Pferdestärke, noch recht groß. Am leichtesten war die Ottosche Gasmaschine mit 22 kg und die Dampfmaschine mit 11—22 kg Gewicht für die Pferdestärke. Da das spezifische Gewicht für große Motoren kleiner ist als für kleinere, sah sich Maxim genötigt, seinem Drachenflieger gigantische Dimensionen zu geben. Die Dampfmaschine, ein Meisterwerk der Technik, wog mit allen Zubehörteilen außer dem Heizmaterial 924 kg und leistete bis zu 360 Pferdekräften. Einschließlich der Brennstoffe konnte somit das spezifische Motorgewicht pro Pferdestärke auf weniger als 5 kg herabgesetzt werden.

Gegenwärtig hat der Benzinmotor das kleinste spezifische Motorgewicht von etwa 1 kg. Wo auf das Gewicht des Motors nicht viel ankommt, erzielt man die gleichmäßige Bewegung der Motorwelle bekanntlich durch die Trägheit des Schwungrades. Hier aber würde ein Schwungrad das spezifische Motorgewicht erheblich vergrößern. Man vermehrt daher als Ersatz die Anzahl der Zylinder auf vier oder acht beim Antoinettemotor, auf drei beim Anzanimotor, auf sieben bei den Gnomemotoren oder denen von Esnault-Pelterie usw. Die Leistung der Motoren der Drachenflieger beträgt etwa 20—50 Pferdekräfte. Die Übertragung der Kraft auf die Propeller geschieht oft dadurch, daß man die Propellerachse unmittelbar auf die Motorwelle aufsetzt. Andere, z. B. die Wrights, wenden eine Übertragung an.

Die Frage, welche Luftschrauben für Drachenflieger am brauchbarsten sind, ist jetzt ziemlich geklärt.

Zunächst etwas über die Wirkung der Luftschraube! Jeder einzelne der stets in Mehrzahl vorhandenen Schraubenflügel ist im allgemeinen mit mehr oder minder großer Annäherung ein Teil einer Schraubenfläche. Diese kann man sich so ent-

standen denken, daß man eine Strecke um einen ihrer Endpunkte gleichmäßig dreht und zu gleicher Zeit den Drehpunkt senkrecht zur Richtung der Geraden gleichmäßig verschiebt. Die entstehende Fläche ist dieselbe wie die, die man erhalten würde, wenn man



Flugbilder von Haupttragflächen von Drachenfliegern nach Nimführ.

a = Lanzettform (Pénaud, Kreß); b = Rechteck (Chanute, Farman u. a.); c = (Lilienthal) d = Fledermausflügelform (Ader); e = „Dreieckform“ (Pénaud-Gauchot); f = Zanoniaform (Wels, Gramatzki); g = (H. Maxim); h = (du Temple); i = Gastambide-Mangin; k = Bazin.

von einer Wendeltreppe die Stufen entfernte. Denkt man sich nun einen Teil dieser stufenlosen Wendeltreppe herausgeschnitten, so haben wir einen Teil der Schraubenfläche, einen Schraubenflügel. In der Praxis rundet man die Ecken des Flügels

stark ab und gibt auch dem der Achse genäherten Teile eine etwas andere Gestalt. Alle Schraubenflügeln nun sind unter sich völlig gleich gebildet, und jeder von ihnen kommt nach Ausführung einer gewissen Drehung um die Schraubenachse in genau dieselbe Stellung wie der vorhergehende, indem die vordere Kante des ankommenden dieselbe Lage einnimmt wie die vordere Kante des weggehenden und ebenso die hintere Kante und daher auch die ganze Fläche. Die Wirkung der ganzen Schraube setzt sich also aus den Wirkungen der einzelnen Schraubenflügel durch Summierung zusammen.

Daher sollte man meinen, daß es am zweckmäßigsten wäre, einer Luftschraube möglichst viele Flügel zu geben. Das trifft aber, wie die Versuche Langleys ergaben, keineswegs zu. Vielmehr wird der größte Nutzeffekt mit einer geringen Anzahl von Blättern erzielt; d. h. wenn nur eine gewisse Kraftquelle zur Verfügung steht und ich dieser eine gewisse Menge Arbeit entnehme, so ist der Nutzeffekt am größten, wenn ich eine Schraube mit zwei Flügeln anwende, geringer, wenn sie drei, vier, acht oder noch mehr Flügel hat. Da der gesamte Widerstand der Luft im Falle der zweiflügligen Schraube geringer ist als wenn eine mehrflügelige angewandt wäre, so wird jene sich schneller drehen. Ähnlich wie nun durch die Schlagwirkung des Vogelflügels ein viel größerer Trägheitswiderstand der Luft hervorgerufen wird als durch eine gleichförmige Bewegung mit gleicher mittlerer Geschwindigkeit, so erzielt auch eine Luftschraube mehr Effekt, wenn die Flügel die Luft lebhafter schlagen, d. h. wenn weniger Flügel angebracht sind, die sich infolgedessen schneller drehen. Beim Vogelflügel sowohl wie bei der Luftschraube werden die Teilchen durch den nur ganz kurze Zeit wirkenden Stoß nicht in so lebhafte Bewegung versetzt, sondern sie dienen mehr dazu, dem Propeller einen Stützpunkt zu geben. Es wird also nicht so viel Energie verschwendet, um die Luft in eine Bewegung zu setzen, an der nichts gelegen ist, viel mehr wird fast die ganze entwickelte Energie zum Antrieb nutzbar verwendet. Eine mehrflügelige Schraube hingegen wird durch dieselbe Kraft weniger schnell bewegt und nutzt daher den Luftwiderstand weniger durch Stoßwirkung, als durch Druckwirkung aus. Zudem kommt hierbei bereits nach Verlauf einer kleineren Zeit ein Schraubenflügel mit derjenigen Luft in Berührung, die eben erst einen Stoß empfangen hat und sich infolgedessen in derselben Richtung bereits bewegt, in der sich die Schraube dreht. Es kann sich also der Flügel viel weniger gut von ihr

abstoßen und also ihren Trägheitswiderstand viel schlechter ausnutzen, als wenn die Luft ruhte, wie dies näherungsweise bei wenigflügligen Luftschrauben der Fall ist. So kommt es, daß eine Schraube mit wenig Flügeln die Luft mehr in Ruhe läßt und sich mit geringerem Energieverlust durch das Medium, die Luft oder das Wasser, hindurchschraubt, fast so wie durch eine Schraubenmutter, in der sie ohne große Reibung gleitet.

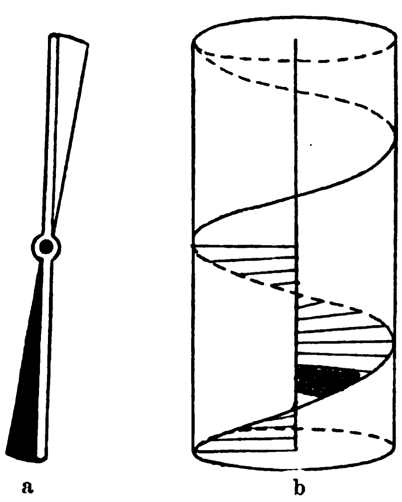
Dementsprechend finden wir, daß fast alle Drachenflieger zweiflüglige Luftschrauben haben. Eine Ausnahme macht der Eindecker von Esnault-Pelterie, der von einem vierflügeligen Propeller angetrieben wird.

Noch eine andere Möglichkeit wäre denkbar, den Luftwiderstand durch die Schläge der Schraubenflügel möglichst energisch hervorzurufen. Man könnte kleine Flügel anwenden und dementsprechend mit derselben Kraft eine viel größere Umdrehungsgeschwindigkeit erzielen. In der Tat bestand längere Zeit hindurch die Ansicht, daß kleine Schrauben mit großer Umdrehungsgeschwindigkeit ebenso ökonomisch arbeiten wie große mit geringerer Umdrehungsgeschwindigkeit. Der Grund dafür liegt wohl hauptsächlich darin, daß der Luftwiderstand schneller als die Schlaggeschwindigkeit des Flügels wächst, nämlich proportional ihrem Quadrat. Neuerdings aber ist man allgemein dazu übergegangen, große Luftschrauben zu verwenden. Man nutzt dabei die Vorteile der größeren Fläche aus. Der Trägheitswiderstand wächst nämlich nicht proportional der Fläche, sondern schneller als diese. Es scheint, daß dieser Vorteil den erstgenannten noch überwiegt. Wir finden also hier dasselbe Prinzip angewendet, das uns den Schlüssel zum Verständnis der Frage bot: Wie kommt es, daß Insekten mit kleinen Flügeln mehr Flügelschläge ausführen müssen als große, wenn die Belastung der Flächeneinheit die gleiche ist?

Zur Herstellung der Luftschrauben verwandte man lange Zeit Metall, etwa als Schaft ein Stahlrohr und als Schraubenfläche Aluminiumblech. Die Wrights erprobten zuerst mit gutem Erfolge Holzschrauben. Gegenwärtig werden diese an vielen Fliegern angewandt. Die Firma Chauvière in Paris stellt diese auf folgende sinnreiche Art her: Mehrere Holzleisten von der Breite des Schraubenblattes werden so aufeinander geleimt, daß die Mittelpunkte alle übereinander liegen, die Enden jedoch so gegeneinander verschoben werden, daß sie zusammen eine Schraubenfläche bilden. Dann wird diese rohe Schraube mit der Hand geglättet und gewölbt, indem die nach vorn gerichtete Seite eine

Wölbung, die Rückseite oder Druckseite eine Höhlung erhält und die Schraube also wirkungsvoller in die Luft hineingreift. Solche Schrauben haben sich als dauerhafter erwiesen als Metallschrauben.

Überhaupt hat sich Holz zur Konstruktion von Flugmaschinen gut bewährt, da es bei gleichem Gewicht fester ist als Stahl oder Aluminium. Insbesondere sind die von der Anwendung des Aluminiums erhofften Vorteile nicht eingetreten. Einmal nämlich ist ein Stahlrohr trotz seiner geringen Dicke biegungsfester als ein gleich schweres Aluminiumrohr. Außerdem muß, da



a eine Luftschraube; b ein Schraubenflügel als Teil einer Schraubenfläche.

ein Aluminiumrohr bei gleicher Festigkeit dicker ist als ein gleich schweres Stahlrohr, seine Anwendung überall da vermieden werden, wo große Stirnwiderstände schädlich sind. Zur Versteifung von Tragflächen ist es also nicht brauchbar. Wenn man hier überhaupt Metall anwenden will, so wäre Stahl dem Aluminium vorzuziehen.

Im Bau der Tragflächen der Drachenflieger herrscht gegenwärtig noch große Mannigfaltigkeit. Denkt man daran, mit welcher Sorgfalt die Natur, die ja nur nach dem Effekt urteilt, es vermieden hat, mehrere Flächen hintereinander anzuordnen, und überall da, wo zwei Paare von Auftriebflächen sich vor-

fanden, diese so verbunden hat, daß sie als zusammenhängende Fläche wirken, so muß es wundernehmen, daß man Drachenflieger mit zwei, drei und mehr Flächen hintereinander konstruiert hat: Die Zweiflächner, Dreiflächner und Mehrflächner oder Monoplane, Biplane und Polyplane. Indes bilden diese Tragflächen-Formen meist nur ein Entwicklungsstadium der Flieger, das bald überwunden wurde. Die neueren erfolgreichen Aroplane zeigen nämlich fast durchweg in horizontaler Richtung eine einzige zusammenhängende Tragfläche. Doch hat diese beinahe noch bei jedem System ihre besondere Form. Vergleichen wir einige solcher Tragflächen miteinander, so finden wir wieder eine große Vielgestaltigkeit. Doch nähern sich alle einer bestimmten Form an, wenn sie diese nicht geradezu kopieren: Der Gestalt des Vogel- oder Insektenflügels. Alle Tragflächen sind breiter als lang und an den Enden meist zugespitzt. Auffälligerweise sind viele Flächen der bisher erfolgreichen Drachenflieger nicht so geformt, wie es uns der Vogelflügel zeigt. So besonders am Apparat der Gebrüder Voisin. Doch erreichten sie ihre Erfolge offenbar nicht wegen, sondern trotz der Abweichung von der klassigen Gestalt des Vogelflügels. Auch den Wrightschen Doppeldecker haben seine beinahe rechteckigen Tragflächen auf dem Wege zum Ruhme nicht aufgehalten. Daraus wird man schließen dürfen, daß die Gestalt der Tragflächen im einzelnen ziemlich große Schwankungen aufweisen darf, wenn nur die Breite die Länge um das fünf- oder sechsfache übertrifft.

Doch, warum müssen die Tragflächen soviel breiter als lang sein? Diese Frage ist zuerst experimentell beantwortet worden: Die Natur und die Flugtechniker nämlich haben ihre besten Erfolge mit solchen Flächen erzielt. Sie müssen also den Luftwiderstand gut ausnutzen. Der Grund dafür ist folgender: Wenn die längere Seite die Luft zerteilt, so wird mehr Luft aus ihrer Lage abgelenkt, als wenn man die schmale Seite zur Ablenkung der Luft benutzt. Dann strömt nämlich die bereits durch den vorderen Teil abgelenkte Luft an der fast gleich schrägen Fläche entlang und schafft keinen Auftrieb mehr.

Eine weitere gemeinsame Eigenschaft fast aller Tragflächen der Drachenflieger ist die von unten gesehen hohle Wölbung. Der schon oben ausführlich besprochene Nutzen dieser Einrichtung ist möglichste Vergrößerung des Auftriebes bei möglichster Verkleinerung des Rücktriebes.

Außerdem sind die meisten Tragflächenenden zugespitzt. Den Nutzen dieser Eigenschaft gab schon Otto Lilienthal wohl zu-

treffend dahin an: Sind die Tragflächen an den Enden breit, so müssen beim Zerteilen der Luft Wirbel gebildet werden, die die Bewegung hemmen. Das wird vermieden, wenn der Rand in einzelne Spitzen aufgelöst wird oder die ganze Fläche zugespitzt ist. Dann findet ein allmählicher Übergang zwischen der bewegten und unbewegten Luft statt. So hat es die Natur gemacht, indem sie den Vögeln entweder spitze oder breite, am Rande sich in Spitzen auflösende Flügel gegeben hat. Da wir nun hier genau denselben Erfolg erzielen wollen wie die Natur, so scheint die Anwendung derselben Mittel am Platze.

Von der Form, die sich auf Grund dieser Überlegung als die vorteilhafteste ergeben würde, weicht noch eine andere Fläche sehr auffällig ab, nämlich die des Welsschen Gleit- und Drachenfliegers. Hier sind die Flügel breit und nach oben gebogen, folgend dem Vorbild der Zanonia-Samen. Als man mit dem Welsschen Gleitflieger gute Erfolge erzielt hatte und nun daran ging, einen Drachenflieger aus ihm zu machen, da bekam man wenig günstige Ergebnisse. Und doch waren die Veränderungen nur gering. Man hatte nur einen Motor mit einer Druckschraube eingebaut und hoffte, daß sich dieselbe Form auch als Drachenflieger bewähren würde, mit der sowohl die Natur wie die Technik beim Gleitfall so gute Erfolge erzielt hatte. Wodurch waren die Mißerfolge verschuldet? — Dieselbe Fläche, die zum Gleitfluge taugt, ist nicht notwendig zum Drachenfluge brauchbar. Denn beim Gleitfluge ist die Vorderkante nach unten gebogen, beim Drachenfluge hingegen nach oben. Die Hörner der Welsschen Fläche kommen also auch in eine ganz andere Lage zur Flugrichtung. Dazu wird die Geschwindigkeit vermehrt und daher die Lage des Druckmittelpunktes verändert. Kurz es ergeben sich theoretisch nicht unbedeutende Änderungen für den Übergang vom Gleit- zum Drachenflieger. Die Praxis ergab dasselbe. Der Zanonia-Gleitflieger wurde daher so erheblich umgebaut, daß von dem ersten Entwurf nicht viel mehr übrig geblieben ist als der Name und der Flächenumriß. Bei dem Etrich-Welsschen Drachenflieger sind die Tragflächen jetzt unten hohl, der Flieger hat einen ziemlich langen Schwanz mit Höhensteuer und eine stirnständige Schraube erhalten. Besser hätte man meines Erachtens nun auch noch die Zanonia-Form und schließlich den Namen aufgeben sollen.

Vielleicht wären die Erfolge besser und die Änderungen weniger durchgreifend gewesen, wenn man den Flieger zu einem Gleitschraubenflieger eingerichtet hätte.

Zum Schluß noch die Frage: Automatische oder willkürliche Stabilität?

Noch immer findet man in den größeren Zeitschriften, die die naturwissenschaftlich-technischen Wissensgebiete pflegen, Aufsätze, die zeigen, daß man sich noch nicht schlüssig geworden ist, ob man die Stabilisierung ganz in den Apparat hineinlegen, also einen Apparat bauen soll, der unter normalen Verhältnissen nicht kippen kann, oder ob man die Erhaltung der Stabilität ganz oder zum Teile dem Führer des Fluggeräts anvertrauen soll. Gegenwärtig ist wieder ein Ingenieur damit beschäftigt, einen neuen Flugapparat zu bauen, der rein automatisch stabil sein soll. H. J. Gramatzki beschreibt in der „Umschau" einen automatisch stabilen Monoplan, der dem Zanonia-Samen nachgebildet wird. Ein Modell, das bereits ausgeführt wurde, soll sehr gute Flüge vollbracht haben.

Wird dieser Weg der allgemeine werden? — Automatische Stabilität eines Apparates ist nur auf Kosten der Motorkraft zu erreichen. Alle Stabilisierungsvorrichtungen nämlich wirken hemmend auf den Flug. Z. B. sind beim Zanonia-Samen die Flächen aufgebogen, dadurch aber ist der Tragfläche eine Gestalt gegeben, die wenig nützlichen Auftrieb, dagegen viel schädlichen Rücktrieb liefert. Doch ist es möglich, daß sich die ungünstige Flächenwölbung so sehr herabmindern läßt, daß der schädliche Einfluß kaum mehr in die Wage fällt. Gibt es doch auch Pflanzensamen, die weniger hemmende Flächenwölbung haben als die der Zanonia und die doch automatisch stabil sind. Ich meine die der Bignonia mucronata. Unter den Samen dieser Pflanzenart, die mir die Direktion des Botanischen Gartens zu Dahlem freundlichst überließ, fanden sich einige sehr schwach unterlastige und doch hinreichend stabile Samen, ja sogar einer, der in der Rückenlage wie in der Bauchlage stabil flog. Hier muß also die ganz geringe Durchbiegung, die der Druck des ganz leichten Samens bewirkt, zur Stabilisierung hinreichend gewesen sein. Wird an einem solchen wenig unterlastigen und doch automatisch stabilen Flieger mit wenig hemmendem Querschnitt das Prinzip der Flächenverwindung angebracht, so wäre wohl eine glückliche Verbindung der automatischen und willkürlichen Stabilität erreicht.

Der Weg würde dann hier derselbe sein, wie in der Fahrradtechnik. Hier baute man auch zuerst zwei entgegengesetzte Typen: die in der Querrichtung und zumeist auch in der Längsrichtung künstlich stabilen Hochräder und die in beiden Richtungen auto-

matisch stabilen Dreiräder. Keins dieser Modelle hat sich bewährt. „Das Rad" wurde das Zweirad, bei dem die Längsstabilität automatisch und die Querstabilität dem Fahrer überlassen ist.

Ähnlich, scheint mir, wird es auch beim Drachenflieger werden. Ob man allerdings die Längsstabilisierung durch Schwanzflächen oder durch Biegung der Haupttragfläche erreichen wird, läßt sich gegenwärtig nicht absehen. Vielleicht ist auch hier ein Kompromiß vorteilhaft. Ein Höhensteuer nämlich erscheint unerläßlich. Wird es in nicht zu großem Abstand hinter den Tragflächen angebracht, so übernimmt es leicht einen Teil der Aufgabe der Längsstabilisierung; ein anderer kann durch die Tragflächenform erreicht werden, ohne daß zu große Verluste durch Rücktrieb entstehen. Den Rest hätte der Führer durch Betätigung des Höhensteuers zu erstreben. So würden einmal die Dimensionen etwas verkleinert, dann aber würde auch dem Führer ein Teil der Arbeit abgenommen und die Sicherheit erhöht.

4. Die Schraubenflieger.

Am weitesten von dem Wege der Natur ist man abgegangen, als man daran dachte, lediglich durch Hub- und Triebschrauben ohne Anwendung von Tragflächen Flugapparate in Bewegung zu setzen. Hier ist von der Idee des Vogelfluges nichts mehr geblieben. Das Prinzip der Luftschraube nämlich ist der Natur ganz fremd, und zwar hat hier die Technik den Vorteil auf ihrer Seite. Wenn nämlich durch periodische Schläge ein Effekt hervorgebracht werden soll, so muß die Antriebsfläche einmal aus dem Ruhezustande in Bewegung versetzt werden, dann wieder in ihrer Bewegung aufgehalten werden. Dabei geht viel Kraft verloren, um die Trägheit der ruhenden oder bewegten Massen zu überwinden. Dieser Verlust fällt bei der andauernden Drehbewegung fort. Die Anwendung einer Luftschraube ist also vorteilhafter als die eines Flügels — ein neuer Grund für die Unbrauchbarkeit der künstlichen Schwingenflieger.

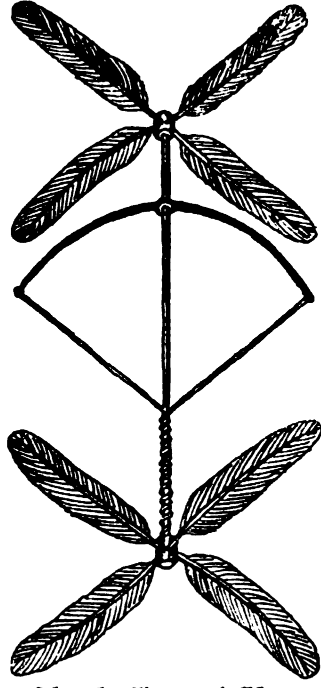
Warum wandte die Natur keine Schraubenpropeller an. Konnte sie diese Endeckung nicht machen? Der berühmte Physiker Ernst Mach meint, daß die Kontinuität des Baumaterials der Natur der Hinderungsgrund gewesen sei. Die Natur habe keine Achsen und Treibriemen erfinden können, weil sie dazu eine Trennung der Organe an einigen Stellen hätte vornehmen müssen. Der Grund scheint zunächst plausibel. Fragen wir uns

jedoch: Hat die Natur nirgends eine Drehbewegung zustande gebracht? — ich meine natürlich nicht von ganzen Organismen, sondern von einzelnen Organen im oder am Organismus; sonst würde man mir sogleich die Tanzbewegung nennen —. Antwort: es gibt Rotationsbewegungen einzelner Teile im Organismus. Es gibt Embryonen, die sich unaufhörlich im Ei drehen; auch das Protoplasma rotiert in vielen Zellen so schnell, daß man es unter dem Mikroskop deutlich verfolgen kann, z. B. in verwundeten Blättern der Wasserpest, Elodea canadensis. Auf dieser Stufe kann die Natur mit ihren einfachen Mitteln eine Rotation erreichen — warum nicht bei hochentwickelten Tieren? Eine Materialunterbrechung ist doch dazu nicht nötig. Und selbst wenn es so wäre, so könnte dies kein Hinderungsgrund sein. Denn die Natur wendet sie oft genug an: Jedes Kugelgelenk zeigt eine Materialunterbrechung. Warum wurden nun dazu nicht Muskeln erfunden, die das im Kugelgelenk befestigte Glied um seine Achse drehen? Wäre diese Bewegung doch einfach so zu erreichen, daß eine Stelle des Knochens, der sich drehen soll, exzentrisch ausgebildet wird und daß jedesmal, wenn der Knochen sich so weit gedreht hat, daß diese Stelle einen zwischen zwei festen Punkten ausgespannten Muskel berührt, dieser sich zusammenzieht und damit durch seine Reibung am Knochen diesem eine Drehung erteilt. Wenn sich dann die verdickte Stelle des Knochens an dem Muskel vorbeibewegt hätte, so hätte er hinreichend Zeit, wieder seine ursprüngliche Lage einzunehmen. Ja, es ließen sich noch andere ähnliche Mittel ersinnen, die es der Natur wohl möglich gemacht hätten, die Pendelbewegung durch die ökonomische rotierende Bewegung zu ersetzen. Doch warum hat sie es nicht getan? Weil die winzigen Zellen keine Techniker sind und keine Erfindungen machen können, und weil der Daseinskampf keine denkende Person ist — mit anderen Worten, weil die Natur nicht eigentlich vorwärtsschauende Erfindungen, sondern nur Entdeckungen macht, indem sie einen zufällig auf irgendeine Weise erreichten Fortschritt mit den physischen und psychischen Mitteln der Zellen festhält. Die Natur denkt nicht und probiert nicht, wenn sie etwas Neues leisten soll, sondern tastet sich durch das Labyrinth der wechselnden Anforderungen hindurch, die die Lebensumstände den Organismen stellen.

Schließlich, wie sollte sie zu Ende kommen, wenn sie wirklich der Paulyschen Theorie zufolge ähnlich wie ein Techniker entdecken würde? Wenn sie unsere Idee erfaßt hätte, eine Rotations-

bewegung zu erzielen, — wie sollte sie die Mittel auswählen und anwenden? — Natura non facit saltum; aller Fortschritt in der Natur beruht auf der langsamen Umwandlung des Vorhandenen. Die Natur hätte Luftschrauben statt der Flügel anwenden können, aber sie konnte nicht.

Das aber beweist nicht, daß es auch der Technik unmöglich sein werde, Schraubenflieger zu bauen. Von dem Drachenflieger unterscheidet sich ein Schraubenflieger dadurch, daß nur die Schraubenflächen die Tragflächen bilden. Ein Motor mit einer großen Hubschraube wäre also etwa ein primitiver Schraubenflieger.



Schraubenfliegermodell von Launoy und Bienvenu.

Mit kleinen Modellen von Schraubenfliegern hat man schon vor längerer Zeit gute Erfolge erzielt. Schon im Jahre 1784 führten die Franzosen Launoy und Bienvenu einer Kommission der Akademie der Wissenschaften ein kleines, sehr einfach gebautes Modell vor: Zwei Schrauben wurden aus je vier in einen Korb gesteckten und etwas aufgedrehten Federn gebildet und so auf die beiden Enden eines Stabes gesteckt. An dem Stabe befand sich ein Bügel und an dessen Enden eine Gummischnur, die zu dem einen Ende des Stabes führte. Wurde dann der Bügel durch wiederholte Umwicklung der Schnur gespannt und dann losgelassen, so drehten sich die Schrauben, und das kleine, etwa 85 kg schwere Modell erhob bis zur Zimmerdecke.

Später hat man noch oft kleine Schraubenfliegermodelle gebaut, die sich zum guten Teil auch als flugfähig erwiesen. Man projektierte und baute darauf auch große „manntragende“ Schraubenflieger. Von den Modellen unterscheiden sich diese dadurch, daß man, entsprechend dem doppelten Zweck eines Schraubenfliegers, verschieden gestellte Luftschrauben anwendet:

einmal tragfähige, horizontal gestellte Hubschrauben und dazu mindestens eine Antriebsschraube zur horizontalen Fortbewegung. Damit bei Anwendung einer Hubschraube diese nicht den ganzen Apparat durch Rückstoß in Rotation versetzt, wendet man hier zwei Hubschrauben an, die in entgegengesetzter Richtung rotieren. Dann heben sich die von ihnen hervorgerufenen Drehmomente gegenseitig auf.

Gegenwärtig sind allerdings auf diesem Gebiete noch keine Erfolge zu verzeichnen. Wie mag das kommen? — Der senkrechte Aufstieg erfordert viel mehr Energieaufwand als der schräg ansteigende, den die Drachenflieger anwenden. Das sagen uns auch die fluggewandtesten Vögel. Sie können gerade empor nur eine ganz kleine Strecke auffliegen; ihr Flug von der Stelle scheint ihnen indes sehr wenig Mühe zu verursachen. Gegenwärtig scheitert die Lösung dieses Problems noch daran, daß die schon so sehr verminderten spezifischen Motorgewichte immer noch zu groß und die Leistungsfähigkeit der Schrauben zu gering ist.

Aber wenn auch diese Mängel beseitigt sind, so muß ein Schraubenflieger doch immer wenig ökonomisch arbeiten, da er ja bei der Ausführung der fortschreitenden Bewegung die Tragkraft der Luft nicht ausnutzen kann. Zudem hat er den erheblichen Mangel verhältnismäßig großer Unsicherheit: So lange ein Versagen eines Motors noch nicht ganz unwahrscheinlich ist, ist ein Aufstieg mit einem Schraubenflieger ohne Hilfsflächen ein gewagtes Unternehmen. Deshalb gehen die Konstrukteure ihren Schraubenfliegern in spe in der Regel besondere Absturzflächen meist in Gestalt eines Fallschirmes. Doch hätte ein wirklich leistungsfähiger Schraubenflieger auch Vorteile: Er könnte von jeder Stelle, ohne Anlauf zu nehmen, auffsteigen und an jeder Stelle niedergehen, ohne eine längere Bahn zu haben, auf der er sich auslaufen kann. Trotzdem scheinen mir die Nachteile die Vorteile weit zu überwiegen, so daß ich dem typischen Schraubenflieger keine große Zukunft verkünden möchte.

Mehr Aussicht dürfte ein Gleitschraubenflieger haben, der die Vorteile beider Systeme vereinigt: Die größere Geschwindigkeit und den ökonomischeren Betrieb des Drachenfliegers mit den günstigeren Auf- und Abstiegbedingungen des Schraubenfliegers.

*　　*
*



Verlag von Theod. Thomas in Leipzig.



Das Zeitalter der Motorluftschiffahrt

Von Regierungsrat Rudolf Martin

Mit 4 Taf. Abbildungen. Pr. brosch. 8 M., eleg. geb. 4 M.

Der Verfasser knüpft an die enorme Entwickelung der Motorluftschiffahrt in den letzten Jahren Folgerungen, die heute wohl noch durch ihre Kühnheit verblüffen, dem aber nicht unmöglich erscheinen werden, der die Tragweite von Zeppelins Erfindung sich vorzustellen vermag. Das Buch erregte namentlich in England gewaltiges Aufsehen, dessen führende Zeitungen spaltenlange Artikel darüber brachten.

Was lehrt die Vergangenheit, Was verlangt die Zukunft vom

Deutschen Schiffbau

Eine kritische Studie von Oswald Flamm

Geh. Regierungsrat und Professor für Schiffbau an der Technischen Hochschule in Berlin.

Mit 19 Taf. Abbildungen. Preis eleg. kart. M. 1.80

Es ist ein Vergnügen, den wechselreichen Bildern zu folgen, die uns hier entrollt werden.
Stahl und Eisen.

Das mit vortrefflicher Frische geschriebene Buch, dessen Lektüre ein Genuß ist, ist jedem national gesinnten Deutschen aufs wärmste zu empfehlen.
D. Techniker-Ztg.

Mein Kind

Ein Erziehungsbuch von **Theod. Paul Voigt**

Preis elegant gebunden Mk. 4.50

Ich bin selten von einem Erziehungsbuch so gefesselt worden, wie von dem Buche Voigts und habe es in einem Zuge zu Ende gelesen, fast immer mit voller Zustimmung und mit reichem Gewinn. Ich möchte das Buch dringend in die Hände aller Väter und Mütter empfehlen.
Dr. Richard Weitbrecht.

Die Pflege der Gesundheit und Schönheit

Ein Familienbuch von Dr. med. J. Schneider

Mit 111 Abbildungen. Preis eleg. geb. Mk. 6.—

Der stattliche Band behandelt auf über 300 Seiten die Gesundheitspflege während der Schwangerschaft, der Geburt und des Wochenbettes; des Säuglings; in der ersten Periode der Kindheit; im schulpflichtigen Alter; des Mannes; der Frau; des Greises; und schließt mit einer „Plauderei über Leben und Sterben“.

